



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU PRO KOLABORATIVNÍ
ROBOT**

DESIGN OF END EFFECTOR FOR COLLABORATIVE ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ismael Taoufik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Ismael Taoufik
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je navrhnout takový koncový efektor, který nepatří do typů běžně nabízených ke komerčním účelům a je určen pro kolaborativní robot, spolupracující s obsluhou stroje na výrobu RFID labelů (konvertorů). Návrh netypizovaného a nestandardního koncového efektoru je podřízen funkcnosti, účelu a použití a také případným přiměřeným nákladům na výrobu prototypu ve vývojové a prototypové dílně zadavatele DP (tj. za cenu minimalizace nákladů na pořízení komponent a výrobu), jakož i běžných požadavků na bezpečnost práce s kolaborativními roboty.

Cíle diplomové práce:

Zhodnocení současného stavu v oblasti konstrukcí a aplikací kolaborativních robotů, které jsou určeny pro interakci s člověkem ve výrobě.

Systémový rozbor problematiky výroby RFID labelů za výrazného použití kolaborativního robotu (robotů).

Návrh koncepce koncového efektoru (KE) pro kolaborativní robot, zohledňující tyto parametry:

Zajištění vysoce přesného snímání (tolerance v desetinách mm) médií (konvenční label a wet-RFID inlay) z odlepovacích hran vstupních tiskových a programovacích modulů Konvertoru RFID labelů na pracovní plochu efektoru,

Pod tlakem stabilizovat média na pracovní ploše pro přesun ramene kolaborativního robotu k primárnímu nosiči,

Zajištění vysoce přesného uvolnění média ze své pracovní plochy v okamžiku jeho umístování na primární nosič,

Zajištění univerzálnosti konstrukce aktuátoru koncového efektoru pro potřeby různých geometrických rozměrů obou vstupních médií,

Kompaktní rozměry a nízká hmotnost (cca do 3 kg),

to vše za předpokladu dobré dostupnosti komponent pořízených nákupem i popřípadě vlastní výrobou v dílnách ústavu.

Potřebné návrhové výpočty.

Tvorba úplné konstrukční dokumentace koncového efektoru a komentář k dokumentaci.

Analýza rizik konstrukce KE.

Odhad nákladů na případnou výrobu jednoho kusu prototypu KE.

V případě vyrobení prototypu provozní zkoušky v laboratoři ústavu, se zaměřením na vyzkoušení funkčnosti a verifikaci předpokládaných parametrů a vlastností KE, získaných předchozími teoretickými výpočty.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).

Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem koncového efektoru pro kolaborativní robot, který slouží k manipulaci s RFID labely. První část práce je teoretická a zabývá se kolaborativními roboty a koncovými efektoru pro kolaborativní roboty. Následuje praktická část práce, která řeší problematiku výběru vhodného kolaborativního robotu, v dalším kroku je provedeno několik návrhů koncových efektorů, z nichž je opět vybrán ten nejvhodnější. Zvolená varianta koncového efektoru je poté podrobena návrhovým výpočtům, na které v další části navazuje verifikace získaných a zvolených parametrů formou zkoušek provozuschopnosti a CFD simulace. V závislosti na provedené verifikaci je provedeno konečné konstrukční řešení zvolené varianty koncového efektoru včetně komentáře k vypracované konstrukční dokumentaci. Další část se zabývá analýzou rizik sloužící ke snížení potenciálních rizik a zvýšení bezpečnosti myšleného pracoviště s těmito zvolenými komponentami. V poslední části je proveden odhad kalkulace nákladů na případnou výrobu jednoho kusu prototypu koncového efektoru.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with design of end effector for collaborative robot which manipulates with RFID labels. The first part of this thesis is theoretical and deals with collaborative robots and end effector for these collaborative robots. The second part of this thesis is practical and begins with selecting the suitable collaborative robot to tackle this issue and then there are presented several variants of end effectors where is again chosen the suitable one. In the next step there are made design calculations for the chosen variant followed by verifications consisted of practical tests of functionality and CFD simulation. According to made verifications is developed the final construction solution of the chosen end effector variant that includes a commentary about the construction documentation. The next step consists of making risk analysis used for reducing the risks leading to increase the workplace safety. In the last part is made an estimation of the cost of eventual production of one piece of the end effector prototype.

KLÍČOVÁ SLOVA

Koncový efektor pro kolaborativní robot, manipulace s RFID labely, vakuum, kalkulace ceny, analýza rizik

KEYWORDS

End effector for collaborative robot, manipulation with RFID labels, vacuum, price calculation, risk analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TAOUFIK, Ismael. Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124609>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za vedení, cenné rady a ochotu, které mi pomohly při tvorbě diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Bělohradskému Ph.D. ze společnosti SMC za poskytnutí potřebné aparatury k provedení zkoušek provozuschopnosti a cenné rady z oblasti vakua. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovala.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 14. dubna 2020

.....

Ismael Taoufik

OBSAH

1	ÚVOD	19
2	ZADANÁ PROBLEMATIKA	21
3	AUTOMATIZACE	23
3.1	Historický vývoj automatů.....	24
3.2	Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů.....	25
3.2.1	Charakteristické znaky jednotlivých typů PRaM	25
3.3	Generace robotů	26
3.4	Vlastnosti PRaM.....	27
3.5	Základní typy PRaM podle polohovacího ústrojí	27
4	KOLABORATIVNÍ ROBOTY	29
4.1	Kolaborativní robot a průmyslový robot	29
4.2	Parametry při volbě kolaborativního robotu	33
4.3	Programování kolaborativních robotů	33
4.4	Významní výrobci kolaborativních robotů	36
4.5	Aplikace kolaborativních robotů	39
4.5.1	Druhy spolupráce.....	39
4.5.2	Příklady aplikací kolaborativních robotů ve výzkumu.....	41
4.5.3	Příklady aplikací kolaborativních robotů v praxi	43
4.6	Kolaborativní roboty na MSV 2019	47
5	KONCOVÉ EFEKTORY	51
5.1	Koncové efekty pro kolaborativní roboty.....	53
5.1.1	Onrobot	53
5.1.2	Robotiq	56
6	RFID TECHNOLOGIE	61
6.1	Princip	61
6.1.1	Komunikační frekvence.....	61
6.1.2	Principy komunikace podle frekvenčních pásem	64
6.2	Tag RFID	64
6.3	Čtení a zápis RFID.....	65
6.4	Čtečky RFID	66
6.5	Shrnutí.....	67
7	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	69
7.1	Popis činnosti.....	69
7.2	Požadavky na koncový efektor	70
7.3	Způsob řešení zadané problematiky	71
8	VOLBA ROBOTU A KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU KONCOVÉHO EFEKTORU	73
8.1	Metoda multikriteriálního hodnocení	73
8.1.1	Bazická bodovací metoda	74
8.2	Volba robotu	75
8.2.1	Posuzované vlastnosti.....	75
8.3	Volba konstrukčního návrhu koncového efektoru.....	77
8.3.1	Konstrukční varianta 1	77
8.3.2	Konstrukční varianta 2.....	79

8.3.3	Konstrukční varianta 3	82
8.3.4	Konstrukční varianta 4	84
8.3.5	Posuzované vlastnosti	86
9	VÝPOČTOVÁ ČÁST	89
9.1	Návrhové výpočty a volba komponent.....	89
9.1.1	Vstupní parametry a požadavky	89
9.1.2	Výpočet průměru sacích děr přísavky	90
9.1.3	Volba podtlakového ejektoru	92
9.1.4	Výpočet času pro dosažení požadované hladiny vakua	94
9.1.5	Volba elektromagnetických ventilů	97
9.1.6	Volba jednotky úpravy stlačeného vzduchu.....	98
9.1.7	Volba kompresoru	99
9.1.8	Volba škrticího ventilu	100
9.2	Pneumatický obvod	100
10	VERIFIKACE VÝPOČTŮ	103
10.1	Popis zkušebního pracoviště.....	103
10.2	Náhradní zkušební pneumatický obvod	105
10.3	Výpočet zkušebních komponent.....	106
10.3.1	Výpočet zkušebních přísavek	106
10.3.2	Výpočet délky zkušební hadice	106
10.4	Metodika a postup zkoušení	107
10.5	Zkoušky funkčnosti a provozuschopnosti navrženého řešení	108
10.5.1	Uchopení a odlepení nejmenšího uvažovaného štítku	108
10.5.2	Uchopení a odlepení největšího uvažovaného štítku	109
10.5.3	Dílčí závěr	110
10.6	CFD simulace	111
10.6.1	Motivace.....	111
10.6.2	Přiřazování materiálových charakteristik.....	111
10.6.3	Síťování a definice počátečních a okrajových podmínek	113
10.6.4	Výsledky.....	113
10.6.5	Dílčí závěr	115
11	KOSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	117
11.1	Požadavky na konstrukci	117
11.2	Popis konstrukce a konstrukční řešení požadavků	117
11.2.1	Popis konstrukce	117
11.2.2	Konstrukční řešení požadavků	119
11.3	Montážní postup	120
11.4	Konečný pneumatický obvod	122
11.5	Rendery koncového efektoru.....	123
12	KOMENTÁŘ K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI.....	125
13	ANALÝZA RIZIK	127
13.1	Metodický postup analýzy rizik	127
13.2	Analýza systému koncového efektoru	128
13.2.1	Základní blokový diagram	128
13.2.2	Blokový diagram	129
13.3	Identifikace relevantních nebezpečí	130
13.4	Analýza významných nebezpečí	132
13.5	Přehled závažných identifikovaných nebezpečí	140

13.6	Formuláře pro snížení rizik.....	142
14	STANOVENÍ CENY PROTOTYPU KONCOVÉHO EFEKTORU	157
15	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	159
16	ZÁVĚR.....	161
17	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	163
18	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	169
18.1	Seznam tabulek	169
18.2	Seznam obrázků.....	170
18.3	Seznam použitých zkratk a veličin v textu.....	174
18.4	Seznam použitých symbolů	175
19	SEZNAM PŘÍLOH	177

1 ÚVOD

Průmysl v současné době jde rychle kupředu a rychle se vyvíjí. Hlavní snahou výrobních podniků je snížit výrobní časy, zvýšit kvalitu a produktivitu výroby, zefektivnit práci a eliminovat chyby způsobené lidským faktorem. Tyto požadavky nelze zajistit bez modernizace, rekonstrukce a automatizace výrobního zařízení. Proto tedy dochází k náhradě monotónní manuální práce člověka automatickým zařízením. V současnosti se lze v různých odvětvích průmyslu setkat s nedostatkem pracovních sil, i zde lze chybějící pracovní sílu zaplnit nasazením automatů.

Cílem této diplomové práce je navrhnout koncový efektor pro kolaborativní robot spolupracujícího s obsluhou stroje na výrobu RFID labelů. Tento koncový efektor má zajistit odlepení médií (konvenčního a wet-RFID inlay) a poté tato média nalepit na primární nosič. Využitím takového koncového efektoru pro zadanou aplikaci oprostí člověka od uvedené činnosti.

V první fázi bude vypracován současný stav poznání v oblasti konstrukce kolaborativních robotů, koncových efektorů a aplikací kolaborativních robotů. Poté bude nastíněn rozbor problematiky výroby RFID labelů za využití kolaborativního robotu. Následně bude vybrán pomocí vhodných kritérií vhodný kolaborativní robot a konstrukční varianta koncového efektoru hodící se pro zadanou problematiku. Pro zvolenou konstrukční variantu koncového efektoru budou realizovány návrhové výpočty, které poslouží k výběru jednotlivých komponent koncového efektoru. Komponenty a provozní parametry získané prostřednictvím výpočtů budou podrobeny následnému ověření provozuschopnosti ve zkušebně. V dalším kroku je v rámci vývoje představeno konečné konstrukční řešení koncového efektoru.

Pro konečné řešení koncového efektoru bude následně vypracována konstrukční dokumentace a v závěru provedena analýza rizik a stanovení odhadu ceny jednoho takového prototypu koncového efektoru.

2 ZADANÁ PROBLEMATIKA

Cílem diplomové práce je navrhnout koncový efektor pro kolaborativní robot, který automatizuje proces oddělení média (konvenčního labelu a wet-RFID inlay) z odlepovacích hran a umístění média na primární nosič. Na navrhovanou konstrukci jsou kladeny následující požadavky:

- musí být zajištěno snímání médií s tolerancí v desetinách mm,
- média musí být při přenosu pod tlakem stabilizována k primárnímu nosiči,
- média musí být přesně uvolněna z pracovní plochy koncového efektoru při jejich umístění na primární nosič,
- zajištění univerzálnosti konstrukce aktuátoru koncového efektoru, kdy bude možné provést celý pracovní cyklus i při různých geometrických rozměrech obou vstupních médií,
- kompaktní rozměry koncového efektoru a
- hmotnost koncového efektoru do 3 kg.

3 AUTOMATIZACE

Automatizace je doprovázena přetvářením celé výrobní linky, změnou výrobní technologie a také ovlivňuje vývoj samotného výrobního procesu. Automatizace jednotlivých úkonů i celých procesů je doprovázena využitím manipulátorů a robotů [1].

Lidskou pracovní sílu je vhodné nahradit automatem v případech, kdy je vykonávána monotónní práce, práce ve zdraví škodlivém prostředí nebo také za účelem zvýšení kvality výroby [1].

Automatizace technologických procesů zahrnuje rovněž automatizovanou dopravu, manipulaci s materiálem, kontrolu a měření, výměnu nástrojů aj. Automatizaci technologického procesu lze řešit pomocí univerzálních nebo jednoúčelových zařízení, případně jejich kombinací [1].

Robotizace průmyslových procesů našla uplatnění nejen v hromadných výroбах, ale i v malosériových a kusových výroбах [1].

V současné době se v praxi uplatňují 3 způsoby automatizace výroby [15]:

- Flexibilní průmyslová automatizace výrobních procesů, která je také označována jako pružná. Často bývá označována zkratkou FMS (Flexible Manufacturing System). Tento systém často využívá rychlých a pružných změn programu, které zpracovávají objekty. Obecně se tento systém uplatňuje při robotizaci.
- Pevná automatizace ve výrobě neboli tvrdá automatizace výroby spočívá ve využití výrobních postupů, které jsou určeny pro zpracování jednoho výrobku ve velkých sériích. Výrobní systémy tohoto typu využívají jednoúčelové nebo stavebnicové obráběcí stroje. Obecně se tyto stroje a výrobní linky vyznačují vysokou produktivitou na úkor variability.
- Internet věcí, známé také jako IoT (Internet of Things), spočívá v řízení výroby na dálku. IoT se uplatňuje v automatizované výrobě, logistice a především v energetickém, výrobním a zpracovatelském průmyslu. Zmíněná metoda je spojována s „průmyslem 4.0“. Tato platforma zkoumá, popisuje a koriguje výrobní proces takovým způsobem, aby bylo dosaženo zvýšení produktivity a optimalizace nákladů.

Nahrazení lidského pracovníka automatem neznamená, že se pracovník nebude moci dále uplatnit. Takto nahrazený pracovník může provádět práci na vyšší intelektuální a tvůrčí úrovni. Oproštění člověka od monotónních prací, kde jsou kladeny nároky na svědomitost, pečlivost a bdělost, lze provést za užití manipulačního zařízení s různým stupněm automatizace [1].

Investice do těchto zařízení se projeví snížením provozních nákladů, zvýšením bezpečnosti a produktivity práce [1].

3.1 Historický vývoj automatů

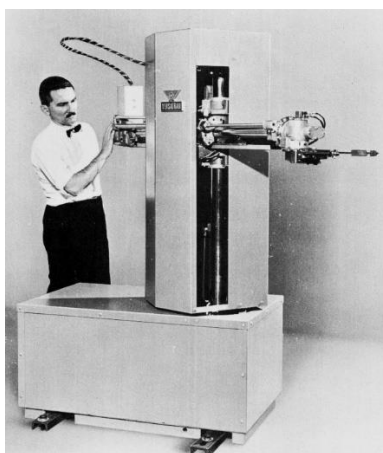
První pokusy o zapojení stroje do služeb lidí sahají až do roku 400 př. n. l., kdy Archytás vytvořil model dřevěného holuba, který ve svých útrokách ukrýval malý balon. V 1. století n.l. konstruktér Hérón Alexandrijský vytvořil automat na dávkování vody po vhození mince [4].

První výrobní automat, vibrační podavač obilí, byl popsán technikem Ramellim v roce 1588. Ke skutečnému sestrojení automatických strojů došlo až v roce 1801 Francouzem Ch. Jacquardem, který vynalezl dopřádací stroje. V následujících desetiletích se postupně začaly objevovat první poloautomatické revolverové soustruhy, papírenské stroje nebo zemědělské mlátičky [13].

Automatické stroje schopné téměř samostatně vykonávat práci vznikly před druhou světovou válkou. Během tohoto období byly sepisovány první teorie, které popisovaly zákonitosti automatického řízení. V roce 1928 bylo poprvé využito automatů k montáži Smithovy továrny v Milwaukee [13].

Další zásadním milníkem v oblasti automatizace nastal mezi lety 1949–1952, kdy John Pardons vyvinul systém pro řízení polohy vřetene obráběcího stroje. Systém byl ovládaný počítačem a k ovládní pohybů jednotlivých os byly využity servomotory. Automatického čtení programu na stroji bylo dosaženo uložením vypočítaných bodů trajektorie na dřevnou pásku. První číslicově řízený (NC) obráběcí stroj vznikl v roce 1952, systém pro řízení NC obráběcího stroje se 3 osami vznikl v roce 1954 [13].

V roce 1958 byl americkou firmou Unimation vyvinut „průmyslový robot UNIMATE“. O tři roky později přišla americká firma AMF na trh s mnohoúčelovým automatem. Jednalo se o „průmyslový robot VERSATRAN“. Název VERSATRAN je vytvořen kombinací slov VERSAtile a TRANSfer). Tento průmyslový robot již dokázal zastávat funkci člověka u výrobního stroje. Lze konstatovat, že se jedná o jedny z nejlepších typů průmyslových robotů na světě, ačkoliv našly své uplatnění na trhu až o několik let později [4].



Obr. 1) Průmyslový robot VERSATRAN [36]

Společné „soužití“ průmyslových robotů a NC výrobních strojů vyústil na přelomu 20. a 21. století ke vzniku plně automatizovaných továren. Typickým příkladem je firma Fanuc [4].

Automatizace tak zajistila zvýšení růstu produktivity práce. Současná technika ovlivňuje organizaci výroby a dává tak člověku možnost jiného pohledu na technologie, které jsou mu k dispozici. Lidé se během posledních desetiletí naučili sdílet s roboty stejná pracoviště. Počet robotů jde během současného 21. století prudce nahoru. Markantního skoku

v počtu robotů lze zaznamenat například mezi roky 2003–2008. V roce 2003 bylo v Evropě nainstalováno 20000 robotů, v roce 2008 bylo po celém světě nainstalováno již 200000 robotů [13].

3.2 Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů

Pro jednoúčelové průmyslové roboty a manipulátory, dále PRaM, je typické [1]:

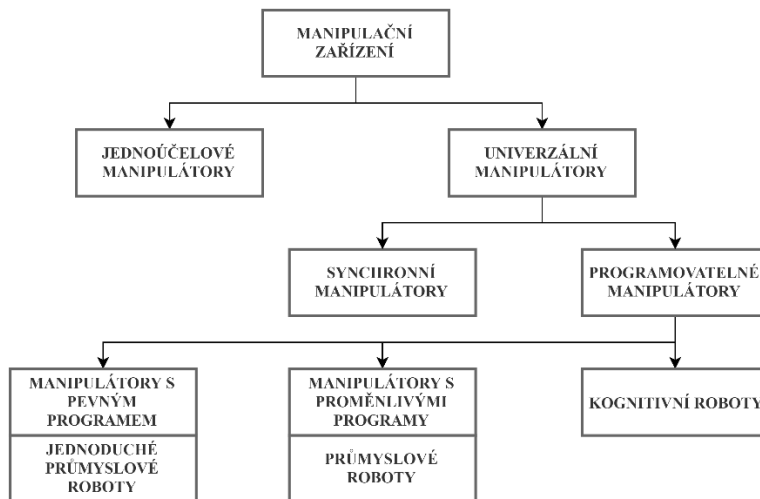
- omezená pohybová možnost,
- úroveň řízení vyhovující dané aplikaci,
- konstrukční provedení a pohony odpovídající obsluhovanému zařízení a používané technologii.

Univerzální PRaM jsou obecně typické svojí víceúčelovostí, čímž je možné zařízení přizpůsobit různým technologiím. Při volbě mezi jednoúčelovým a univerzálním PRaM je vhodné brát v potaz hodnocení technologie a pracoviště, přičemž musí být respektována technická i ekonomická hlediska [1].

3.2.1 Charakteristické znaky jednotlivých typů PRaM

Dále jsou uvedeny charakteristické znaky jednotlivých typů PRaM [1]:

- Podavače – Jsou nejjednodušší manipulátory, které tvoří většinou s ovládaným strojem jeden celek. Tímto strojem je podavač řízen a má od něj odvozen pohon. Často se podavače uplatňují při automatizaci technologických procesů.
- Synchronní manipulátory – Tyto manipulátory slouží jako zesilovací ústrojí pro zesílení silových a pohybových veličin na základě pokynů vyvolaných řídicím pracovníkem. Manipulátor a člověk tak „tvoří“ uzavřenou regulační smyčku. Tato možnost ovládní pracovního mechanismu na dálku je typicky využívána v lékařství a pro vědecké účely.
- Programovatelné manipulátory – Jejich řízení je realizováno programovým ústrojím. Jsou nezávislé svým provedením, pohonem a funkcí na obsluhovaném stroji.
- Manipulátory s pevným programem – Program těchto manipulátorů se během jejich činnosti nemění. Tyto manipulátory se často nazývají jako „jednoduché průmyslové roboty“.
- Manipulátory s proměnlivými programy – Program těchto manipulátorů lze přepnout podle typu činnosti, která má být vykonávána. Tímto se projevuje jejich adaptivita. Tyto manipulátory se nazývají „průmyslové roboty“.
- Kognitivní roboty – Tyto roboty jsou vybaveny možností vnímání a racionálního myšlení (kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení). Tyto roboty jsou typicky využívány k manipulačním úkonům (přemísťování objektů) nebo výrobně-technologickým činnostem (například vrtání, soustružení).



Obr. 2) Rozdělení manipulačních zařízení [4]

Univerzální manipulátory neboli roboty neustále podléhají vývoji jejich programového a sensorického vybavení. Podle míry „intelligence“ je možné roboty rozdělit do jednotlivých vývojových generací [4].

3.3 Generace robotů

V současnosti je možné roboty rozdělit do následujících generací [1, 4]:

- 0. generace – Spadají sem manipulátory a roboty bez zpětné vazby. Poruchy nebo změny ve sledované oblasti upozorňované čidly vedou k neprovedení dalšího kroku a odpojení systému od přívodu energie. Tato situace se následně neobejde bez zásahu obsluhy.
- 1. generace – Tyto roboty mají programové řízení a jsou určeny pro vykonávání pevně naprogramované posloupnosti operací. Výhodou je jednoduchost, s jakou je možné měnit program, čímž je umožněno nasazení robotů do řady odlišných úkonů. První generace je omezena pouze na pohybové aplikace, též známé jako termín pick and place („zdvihnout a umístit“).
- 1 ½. generace – Roboty pracují v režimu make and test („udělej a ověř“).
- 2. generace – Roboty této generace jsou již vybaveny vnímáním. Tato generace je doprovázena širokým výběrem senzorů, které lze na tyto roboty aplikovat proti „přechodné“ 1 ½. generaci. Druhá generace umožňuje vybavit robot vnějšími senzory (optické, hmatové), vnitřními senzory (snímače tlaku, polohy) a složitějším řízením. Tyto roboty potřebují ke své činnosti řídicí počítač.
- 2 ½. generace – Roboty schopné vykonávat komplexní (vnímatelně-pohybové) funkce.
- 3. generace – Spadají sem inteligentní roboty, které se od robotů předchozí generace liší složitostí a objemem řídicího systému. Řídicí systém obsahuje prvky umělé inteligence. Typickou vlastností je pak schopnost učení a adaptace při řešení úloh.

Vývoj jednotlivých generací je spojitý s překrýváním, takže roboty nižších generací lze stále uplatnit v různých odvětvích [4].

3.4 Vlastnosti PRAm

„Robot“ je zařízení, které má většinu z následujících vlastností [4]:

1. Manipulační schopnost, tj. schopnost uchopovat předměty, přenášet je, provádět na nich úpravy, a také vykonávat montážní činnost a manipulaci s nástroji.
2. Univerzálnost, která umožňuje použít zařízení k více účelům po změně programu, chapadel nebo nástrojů. Zařízení je možné použít i na jiném pracovišti.
3. Vazba s prostředím neboli možnost vnímání okolí je realizována pomocí senzorů napodobujících jednotlivé smysly člověka.
4. Autonomnost chování, která se projevuje schopností automaticky vykonávat komplexní posloupnost úkolů podle daného programu. Program může být pevný i volitelný, kdy je volba prováděna člověkem nebo vlastním zařízením.
5. Prostorová soustředěnost jednotlivých složek (integrovatost) do jednoho celku. Jedná se o proporce robotu, kdy je robot integrován do jednoho celku a je tak umožněn snadnější přemístění robotu z jednoho místa na druhé.

3.5 Základní typy PRAm podle polohovacího ústrojí

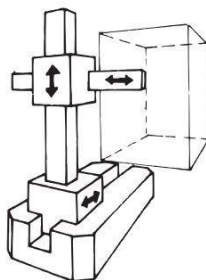
Struktura skladby základního kinematického řetězce (polohovacího ústrojí) má zásadní vliv na morfologii, vzhled a stavbu jednotlivých typů průmyslových robotů [4].

Ustavení referenčního bodu „B“ je prováděno polohovacím ústrojím. 1 stupeň volnosti buď translační (T), nebo rotační (R) postačí k tomu, aby se referenční bod „B“ pohyboval po přímce (úsečce) nebo křivce (kružnice) [4].

K polohování referenčního bodu „B“ v rovině, respektive ploše, je potřeba spojit dvě kinematické dvojice, dále KD. Kombinací dvou KD rotačního nebo translačního charakteru lze získat pohyb referenčního bodu „B“ po rovinném obdélníku (TT), kruhové výseči (RR) nebo válcové ploše (TR) [4].

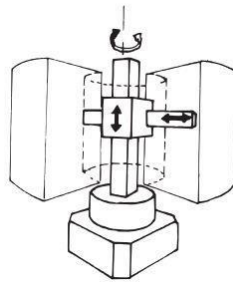
Až přidání třetí KD zajistí pohyb referenčního bodu „B“ v prostoru a lze tak obsluhovat nějaký prostor. Tento obsluhovaný prostor je závislý na celkovém spojení KD v základním kinematickém řetězci, dále ZKŘ. V praxi se lze nejčastěji setkat s těmito 4 typy spojení KD v prostoru obsluhujícím ZKŘ [4]:

1. Spojení tří translačních KD (TTT), obsluhovaný prostor má tvar kvádrů (pravoúhlý, kartézský pracovní prostor).



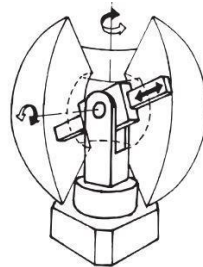
Obr. 3) Kartézský (pravoúhlý) pracovní prostor [4]

2. Spojení jedné rotační a dvou translačních KD (RTT), obsluhovaný prostor je válcový (cylindrický) segment.



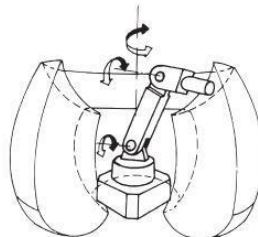
Obr. 4) Válcový (cylindrický) pracovní prostor [4]

3. Spojení dvou rotačních a jedné translační KD (RRT), obsluhovaný prostor je kulový (sférický) segment.



Obr. 5) Kulový (sférický) pracovní prostor [4]

4. Spojení tří rotačních KD (RRR), obsluhovaný prostor je torusový (složený, antropomorfní, angulární) segment.



Obr. 6) Torusový (angulární) pracovní prostor [4]

4 KOLABORATIVNÍ ROBOTY

První myšlenka zkonstruovat robot, který by přímo spolupracoval s člověkem, vznikla v roce 1995 v rámci výzkumného projektu nadace General Motors Foundation. Jak plyne ze samotného označení, kolaborativní roboty mohou současně pracovat s člověkem ve výrobě v jejich blízkosti [2].

4.1 Kolaborativní robot a průmyslový robot

Níže jsou uvedeny rozdíly mezi kolaborativním robotem a konvenčním průmyslovým robotem z různých hledisek [2].

- **Oplocení**

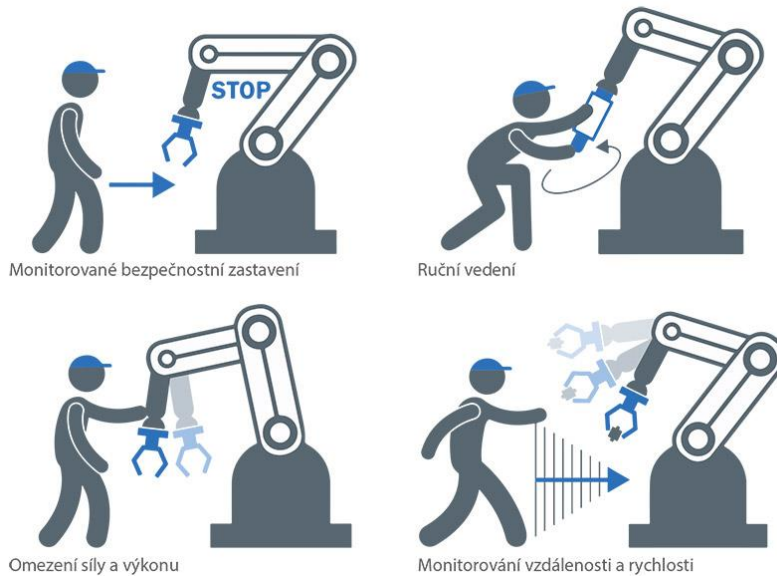
Průmyslové roboty musí být striktně izolovány od lidské obsluhy. K oddělení lidské obsluhy od pracovního prostoru průmyslového robotu se využívají buď mechanická oplocení nebo optické závory, které při detekování přítomnosti jakéhokoliv objektu přeruší pohyb robotu. Kolaborativní roboty, které pracují v „kolaborativním“ režimu mohou pracovat na výrobních linkách přímo vedle člověka. V tomto případě není tedy nutné užití oplocení [2].

- **Zabezpečení**

Všechny roboty, konvenční i kolaborativní, musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10218. Tato norma stanovuje, podle jakých funkcí musí být zajištěna bezpečnost, viz dále [2]:

- 1) Bezpečnostní monitorované zastavení – Robot se řízeným způsobem zastaví v okamžiku, kdy vstoupí jakákoli osoba do monitorovaného prostoru. Tato funkce je využívána u robotu v oploceném prostoru nebo obecně nacházejícího se za bezpečnostními zábranami.
- 2) Ruční navádění – obsluha vede paži robotu po požadované trajektorii a robot se tento pohyb naučí a opakuje ho. Při vstupu obsluhy do monitorovaného prostoru se robot řízeným způsobem zastaví. Obsluha může použít povolovací tlačítko, čímž se pohyb robotické paže uvolní pro ruční navádění.
- 3) Sledování rychlostí a vzdáleností – snímání pohybu robotu a jeho vzdálenosti od obsluhy se provádí pomocí bezpečnostních snímačů. Sleduje se, aby mezi pohybujícím se robotem a obsluhou vždy zůstala stanovená minimální vzdálenost. Robot začne postupně zpomalovat při vstupu osoby do monitorovaného prostoru. K zastavení robotu dojde při dalším překročení vzdálenosti, kdy se člověk ještě více přiblíží k robotu. Roboty, které jsou vybaveny těmito snímači, nemusí být v prostoru odděleném bezpečnostními zábranami, ale stále nemohou bezprostředně spolupracovat s člověkem.
- 4) Omezení síly a výkonu – funkce pro zajištění bezpečnosti kolaborativních robotů. V okamžiku, kdy dojde ke kontaktu osoby s kolaborativním robotem, nesmí působící tlak přesáhnout stanovenou hodnotu. Při překročení stanoveného tlaku může u obsluhy dojít k vyvolání nepřiměřené bolesti nebo ke zranění. Tato mez přijatelného

tlaku je stanovena ve specifikaci ISO/TS 15066, která je doplňkem normy ČSN EN ISO 10218.



Obr. 7) Režimy provozní spolupráce podle ČSN EN ISO 10218-2 a ISO/TS 15066 [37]

K prevenci před zraněním obsluhy kolaborativním robotem se využívají následující konstrukční a bezpečnostní prvky [2]:

- i. Rychlostní a momentové senzory – tyto senzory jsou umístěny v kloubech robotu a signalizují jakou silou působí paže robotu při kontaktu s obsluhou. Při překročení nastavené hodnoty se robot okamžitě zastaví.
- ii. Nízká hmotnost ramena robotu – nižší hmota vyvodí menší náraz do obsluhy.
- iii. Pomalejší pohyb ramen robotu – kolaborativní robot se pohybuje pouze takovou rychlostí, aby byl schopen okamžitě zastavit.
- iv. Zaoblené tvary robotu – síla ramena se rozloží na větší plochu, čímž se sníží náraz.
- v. Měkká vrstva na povrchu ramena robotu – má za cíl zmírnit náraz.
- vi. „Sensitive skin“ – citlivá vrstva na povrchu ramene kolaborativního robotu, která je tvořena kapacitním senzorem. Tento senzor snímá přiblížování objektu k ramenu robotu. Při překročení určité vzdálenosti dá senzor prostřednictvím řídicího systému signál robotu, aby zabrzdil. Maximální dovolená rychlost v okamžiku doteku je stanovena opět ve specifikaci ISO/TS 15066.



Obr. 8) Rozšíření AIRSKIN® na kolaborativním robotu UR 10 plní funkci „sensitive skin“ [38]

vii. Kamery sledující okolí kolaborativního robotu – upozorňují na blížící se obsluhu. Tyto kamery lze také využít při sbírání různých typů výrobních součástek a vkládat je do rukou lidského pracovníka.

- **Oblast použití**

Typické úlohy pro kolaborativní a průmyslové roboty [2]:

Kolaborativní roboty

- produkty v malých sériích,
- robotické operace prováděné paralelně s manuálními pracemi,
- procesy, které nelze plně automatizovat,
- manipulace s lehčími předměty.

Průmyslové roboty

- produkty ve velkých sériích v plně automatizovaných linkách,
- robotické operace vyžadující vysokou rychlost a přesnost,
- nebezpečné procesy,
- manipulace s těžkými předměty.

- **Programování**

Jelikož průmyslové roboty pracují většinou v automatizované výrobě, programování mohou provádět pouze kvalifikovaní pracovníci. Zprovoznění takovéto robotizované linky trvá v řádech týdnů [2].

Kolaborativní roboty se jednoduše instalují a přemísťují na další místo. Lze je i jednoduše programovat pomocí uživatelského rozhraní. Ke zprovoznění stačí většinou jeden den [2].

Srovnání

Pokud bude uvažována stejná aplikace a možnost volby mezi kolaborativním a průmyslovým robotem, pak je vhodné porovnat výhody či nevýhody obou robotů.

Výhody kolaborativních robotů [3]:

- při splnění bezpečnostních požadavků mohou pracovat po boku člověka,
- nemusí být v oploceném prostoru, čímž se sníží celkové pořizovací náklady,
- v případě, že je kolaborativní robot úspěšně nasazen, investice se vrátí v horizontu jednoho roku,
- jednoduché programování a rychlá instalace zaručuje větší flexibilitu kolaborativních robotů.

Nevýhody kolaborativních robotů [3]:

- nutnost provedení analýzy rizik ke zjištění, zda pracoviště splňuje bezpečnostní normy a nemuselo tak být užito ochranných bariér,
- splnění bezpečnostních opatření se projeví výrazně nižšími rychlostmi, kterými se ramena robotu pohybují. V praxi se lze setkat s termínem, že kolaborativní robot pracuje v tzv. „kolaborativním“ režimu, kdy robot může pracovat po boku člověka bez užití plotu a jiných ochranných bariér,
- nižší nosnost, dosah v prostoru, pracovní rychlost a přesnost než u průmyslových robotů,
- činnost kolaborativního robotu vyžaduje pracovníka, který s robotem spolupracuje.

Výhody průmyslových robotů [3]:

- rychlejší, vyšší přesnost, vyšší nosnost než kolaborativní robot,
- mohou plně nahradit lidskou pracovní sílu v nebezpečném pracovním prostředí, jejich práce nemusí být doprovázena obsluhou,
- možnost použití sofistikovanějších programovacích metod,
- návratnost nákladů v rozmezí 12-18 měsíců.

Nevýhody průmyslových robotů [3]:

- nevyplátí se do kusové výroby,
- v případě nutnosti oplocení či jiných ochranných bariér je potřeba změnit rozvržení celého pracoviště,
- náklady spojené s přeprogramováním robotu na jinou úlohu, v případě, že ve výrobě není kvalifikovaný personál,
- ochranné bariéry mohou výrazně zvýšit celkové pořizovací náklady.

Závěrem je tedy vhodné si ujasnit volbu robotu podle následujících kritérií [3]:

- Jaký je typ požadované aplikace?
- V jakém pracovním prostředí bude robot pracovat?
- Pracovní rutina, kterou má robot vykonávat je stále stejná nebo se často mění?
- Má být částečně zachována manuální práce nebo je výsledkem plně automatizovaná linka?
- Kolik místa na pracovišti je k dispozici?
- S jakými předměty bude robot pracovat?
- Jaké jsou požadavky na dosah, přesnost a čas cyklu?

4.2 Parametry při volbě kolaborativního robotu

Každý průmyslový i kolaborativní robot je definován svými technickými parametry a pořizovacími náklady. Tyto parametry hrají důležitou roli při volbě samotného robotu. Mezi základní parametry kolaborativních robotů patří [4, 14]:

- Užitečné zatížení

Často označováno jako hmotnost břemene, se kterou je robot schopen spolehlivě pracovat. Téměř všichni výrobci započítávají do hmotnosti břemene i hmotnost úchopného mechanismu (koncového efektoru), takže čistá hmotnost manipulovaného břemene bude menší.

- Dosah

Tento parametr je definován jako maximální dosažitelná vzdálenost, do které se lze koncovým efektozem dostat. Tato vzdálenost je měřena od základny. Dosah vymezuje přibližnou pracovní oblast obsluhovanou robotem, která je důležitá při stanovení bezpečnosti.

- Bezpečnost

Nejčastěji bývá posouzení bezpečnosti robotu prováděno nezávislou firmou (například firma TÜV). Certifikát bezpečnosti se váže pouze k zařízení, a proto je nutné provést kvalifikovaný posudek rizik s naprogramovaným robotem přímo na pracovišti. Analýzu rizik lze provést například podle normy ISO 10218 nebo normy ISO/TS 15066, která je novější.

- Vlastní velikost a hmotnost

Vlastní velikost a hmotnost je dána stavbou samotného robotu. Obecně je snahou konstruktéra, aby byla hmotnost pohybujících se částí co nejmenší se současným zachováním kýžené pevnosti a tuhosti.

- Složitost programování

Tento parametr je těžké hodnotit, jelikož často hraje vliv subjektivní pocit obsluhy nebo programátora. Například některým lidem vyhovuje programování pomocí grafického prostředí, jiným zase programování pomocí strukturovaného textu.

- Opakovatelnost a přesnost

Přesnost robotu je možné definovat jako schopnost robotu najet do požadovaného bodu ve trojrozměrném prostoru s určitou přesností. Opakovatelná přesnost udává kolikrát je robot schopen najet do stejného bodu v prostoru s požadovanou přesností. Obecně je přesnost robotu ovlivněna jeho zatížením.

4.3 Programování kolaborativních robotů

Průmyslové roboty je možné programovat různými způsoby. V současnosti se nejvíce používá metoda on-line programování. Tato metoda programování je prováděna obsluhou přímo na pracovišti. K programování se používá ruční ovládací panel, známý jako pendant nebo teach-variant. Další metodou programování je off-line programování. Metoda off-line programování je založena na softwarovém systému, který dovoluje 3D virtuální simulaci konkrétního robotizovaného pracoviště. U této metody je také možné definovat pohyby a dráhy robotu, které se následně exportují do příslušného formátu programovacího jazyka. Vyexportovaný off-line program lze nahrát do řídicího systému robotu. Výhodou tohoto způsobu je, že během vytváření

programu není nutné mít robot fyzicky k dispozici. Nevýhodou je nemožnost zasáhnout do programu během jeho chodu v procesu. Toto má za následek menší pružnost programu, kdy se jednotlivé chyby v programu projevují až při samotném vykonávání zadané úlohy robotu. Současný stav vede k propojování obou metod programování, která je v hojně míře využívána u kolaborativních robotů, kde dochází k časté interakci obsluhy s robotem [4, 16].



Obr. 9) Teach pendant KUKA [39]

Jelikož jsou na kolaborativní roboty kladeny zvýšené bezpečnostní požadavky, je nutné zohlednit možné stochastické jevy už i při off-line programování. Program kolaborativního robotu, musí být naprogramován tak, aby zařízení spolehlivě splnilo zadaný úkol a reagovalo na změny ve svém okolí (například náhlá přítomnost obsluhy). Kolaborativní robot je schopen reagovat na změny ve svém okolí pomocí vnitřních a vnějších senzorů. Na programování kolaborativních robotů se výrazně podílí obsluha, která následně s kolaborativním robotem provádí zadané úlohy. Obsluha do samotného programu robotu vnáší již zmíněné stochastické jevy, což vede na větší flexibilitu programu [16].

Obsluha se účastní programování (on-line) robotu implicitně nebo explicitně. Explicitní účast představuje přímou komunikaci, kdy obsluha předává informace nebo příkazy kolaborativnímu robotu. Implicitní účast spočívá v tom, že kolaborativní robot sleduje akce prováděné obsluhou a je naprogramován tak, aby mohl tyto akce následně napodobovat. Robot pak provádí činnost bez nutnosti zásahu obsluhy. Na základě těchto druhů on-line programování získává kolaborativní robot vlastnosti, díky kterým je flexibilní a zároveň jednoduše programovatelný. Během spolupráce obsluhy s kolaborativním robotem se využívají následující metodiky programování [16]:

- Komunikační metodika – Obsluha ovládá kolaborativní robot prostřednictvím komunikačního kanálu. Tento komunikační kanál je verbální nebo neverbální. Při verbální komunikaci je využívána řeč. Při neverbální komunikaci je využito gest (pohled, pozice hlavy, hmatové odezvy). V off-line části programu programátor definuje pohyb a možné činnosti, které může kolaborativní robot vykonat. On-line programování probíhá většinou za explicitní účasti, takže obsluha dává pokyn kolaborativnímu robotu, aby vykonal zadané úkony.
- Optimalizační metodika – Zde je především kladen důraz na okolí, ve kterém bude kolaborativní robot pracovat. Do programu jsou zahrnuty například překážky a pozice nástrojů ve formě matematického modelu. Na základě tohoto

matematického modelu, který má charakter funkce, jsou prováděny robotovy akce. Optimalizační metodika spočívá v postupných úpravách této matematické funkce, která vede k získání kýženého výkonu. Úpravy lze provádět tak, aby bylo dosaženo snížení vynaložené námahy obsluhy při vykonávání úlohy, snížení spotřeby energie, snížení časového cyklu atd... Off-line část programu obsahuje matematické funkce a optimalizační algoritmy. On-line část programu se postupně mění při provádění úlohy. Během on-line programování je snahou zahrnout vlivy obsluhy při vykonávání úlohy robotu. Obsluha se účastní on-line programování implicitně. Výhodou této metodiky je větší pravděpodobnost, že kolaborativní robot bude vykonávat činnost optimálněji než člověk.

- Učení – Spočívá v tom, že se kolaborativní robot iteračně učí podobným dovednostem, které má člověk. Učení probíhá prostřednictvím pozorování reálných ukázek, které robot následně napodobuje. Postupné zlepšování dovednosti probíhá iteračně, tedy na základě metody „pokus-omyl“, kdy robot klade otázky, aby získal zpětnou vazbu a přiblížil se tak požadovanému provedení dovednosti. Off-line část programu obsahuje programátorem navržený algoritmus učení. Tento algoritmus sbírá vstupní data, pomocí kterých je kolaborativnímu robotu na začátku učení umožněno provést zadaný úkol. Off-line část programu se může během spuštění několikrát změnit. Obsluha se on-line programování účastní explicitně. Obsluha předává dodatečná data, která robotu slouží ke zlepšování při učení zadané dovednosti.

V tabulce dále jsou uvedeny typické úlohy programátora a obsluhy při uvedených metodikách programování kolaborativního robotu [16].

Tab 1) Úkoly při programování kolaborativního robotu [16]

Metodika	Úkol programátora (off-line)	Úkol obsluhy (on-line)
Komunikační	Návrh algoritmu, který je schopen rozpoznávat řeč a zadávat úkol	Slovní příkaz vedoucí k zahájení úkolu (explicitní účast)
Optimalizační	Návrh vhodné funkce a optimalizačního algoritmu	Určit manipulovaný předmět, u kterého bude využito naprogramované funkce robotu (implicitní účast)
Učení	Návrh algoritmu, který je schopen interaktivního učení a zajištění počátečních podmínek	Zajistit zpětnou vazbu, která vede k postupnému učení robotu (explicitní účast)
Učení	Návrh algoritmu, který je schopen učení z ukázky a zajištění ukázek	Provádět ukázky podobné zadaným, které robot vyzkouší a následně provede (implicitní účast)

4.4 Významní výrobci kolaborativních robotů

Mezi významné výrobce kolaborativních robotů patří: Universal Robots, ABB, Kuka, Fanuc, Yaskawa a další.

Universal Robots

Společným znakem všech kolaborativních robotů tohoto výrobce je specifická bledě modrá barva na krytování kloubů, na kterých je logo firmy „UR“. Toto krytování je elastické. Všechny kolaborativní roboty mají 6 stupňů volnosti a angulární kinematickou strukturu. Nosnost těchto kolaborativních robotů se pohybuje v rozmezí 3–16 kg podle třídy robotu. Jednotlivé roboty mají název „UR“, dále následuje číslo představující nosnost. Novější generace má ještě za uvedeným řetězcem písmeno „e“. Tato novější generace nabízí snadnější programování robotu. Na přírubě robotu je umístěn bezpečnostní silo-momentový senzor. Ke zprovoznění robotů stačí 230V napájení [4, 5].

Mezi významné distributory těchto robotů v České republice patří firmy Amtech a Dreamland [5].

V tabulce dále je uveden stručný přehled technických parametrů jednotlivých robotů třídy e:

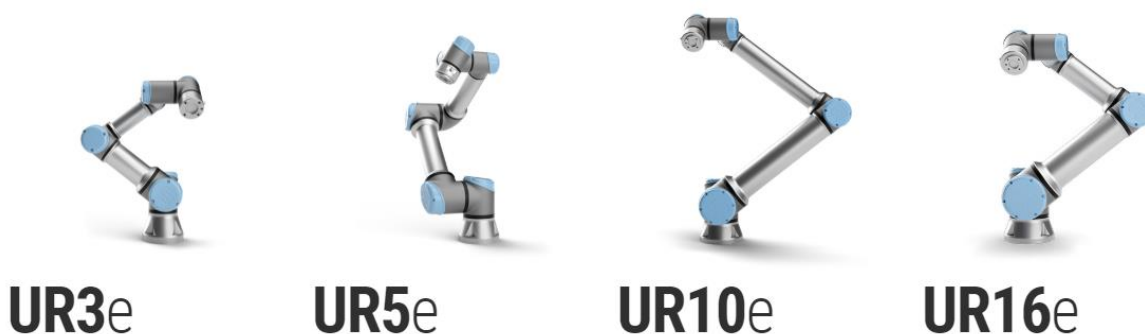
Tab 2) Stručný přehled technických parametrů kolaborativních robotů Universal Robots třídy UR_e [5]

Typ	UR3e	UR5e	UR10e	UR16e
Nosnost [kg]	3	5	10	16
Dosah [mm]	500	850	1300	900
Opakovatelnost pohybu dle ISO 9283 [mm]	±0,03	±0,03	±0,05	±0,05
Hmotnost [kg]	11,2	20,6	33,5	33,1
Půdorysný rozměr [mm]	Ø 128	Ø 149	Ø 190	Ø 190
Stupeň krytí	IP54	IP54	IP54	IP54

Poznámka: Stupeň krytí IP54 chrání zařízení před prachem, dotykem drátem a současně i před stříkající vodou [6].

Na mezinárodním strojírenském veletrhu 2019 v Brně byl nově představen kolaborativní robot UR16e [7].

Tyto roboty lze aplikovat do úloh jako jsou balení a paletizace, lepení, svařování, obsluhování vstřikolisů, šroubování, manipulace s předměty, kontrola kvality [11].



Obr. 10) Kolaborativní roboty Universal Robots řady Ure [40]

Fanuc

Pro kolaborativní roboty tohoto výrobce je typická zelená barva. Opět mají angulární kinematickou strukturu (RRR) a 6 stupňů volnosti. Fanuc kolaborativní roboty se vyznačují celkovou robustní konstrukcí ve srovnání s kolaborativními roboty výrobce Universal Robots. Nosnost kolaborativních robotů Fanuc se pohybuje v intervalu 4-35 kg. Značení kolaborativních robotů Fanuc mají v názvu označení „CR-“, následuje číslo reprezentující nosnost a písmeno „A“ nebo „L“. Písmeno „L“ v označení představuje variantu s delším ramenem a tím i větším dosahem robotu [8].

Tab 3) Stručný přehled technických parametrů kolaborativních robotů Fanuc [8]

Typ	CR-4iA	CR-7iA	CR-7iA/L	CR-15iA	CR-35iA
Nosnost [kg]	4	7	7	15	35
Dosah [mm]	550	747	911	1441	1813
Opakovatelnost pohybu [mm]	±0,01	±0,01	±0,01	±0,02	±0,03
Hmotnost [kg]	48	53	55	255	990
Stupeň krytí	IP67	IP67	IP67	IP54	IP54

Poznámka: Opakovatelnost pohybu je uvedena podle normy dle ISO 9283. Zařízení s ochranou krytí IP67 je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem. Zároveň je odolné proti vniknutí vody při dočasném ponoření zařízení do vody [6].

Všechny kolaborativní roboty Fanuc, kromě typu CR-35iA je možné instalovat i na stěnu nebo strop. Příruba robotu CR-35iA je dutá [8].



Obr. 11) Kolaborativní roboty FANUC řady CR [41]

Kuka

Kolaborativní roboty výrobce Kuka mají 7 stupňů volnosti a angulární kinematickou strukturu (RRR). Nosnost kolaborativních robotů je buď 7 kg nebo 14 kg, záleží na třídě. Kolaborativní roboty výrobce Kuka mají označení „LBR iiwa“, následuje číslo reprezentující nosnost, písmeno „R“ a číslo představující dosah. Zkratka „LBR“ znamená robot lehké konstrukce a „iiwa“ inteligentní průmyslový asistující pracovník [10].

Tab 4) Stručný přehled technických parametrů kolaborativních robotů Kuka [9]

Typ	LBR iiwa 7 R800	LBR iiwa 14 R820
Nosnost [kg]	7	14
Dosah [mm]	800	820
Opakovatelnost pohybu dle ISO 9283[mm]	±0,1	±0,15
Hmotnost [kg]	23,9	29,9
Stupeň krytí	IP54	IP54

Dále existují kolaborativní roboty, které mají stejné označení doplněné o příponu „CR“. Roboty s tímto označením nelze přimontovat na stěnu či strop [10].

Tyto roboty lze aplikovat pro vykonávání úloh, jako jsou měření, testování, paletizace, mechanické obrábění, montáže, nanášení lepicích hmot [10].



Obr. 12) Kolaborativní robot KUKA LBR iiwa 14 R820 [42]

ABB

Společnost ABB nabízí dvouramenný kolaborativní robot YuMi, který má 7 stupňů volnosti. Kinematická struktura je angulární, tedy RRR. Označení YuMi znamená „You and Me“ („ty a já“). Plášť kolaborativního robotu, který je tvořen pružným plastem zabaleným do měkkého polstrování, skrývá kostru z hořčíkové slitiny. Tato konstrukce umožňuje absorbovat sílu při neočekávaných nárazech [17, 18].

Tab 5) Stručný přehled technických parametrů kolaborativního robotu ABB [17, 18]

Typ	YuMi
Nosnost [kg]	0,5
Dosah [mm]	500
Opakovatelnost pohybu dle ISO 9283 [mm]	±0,02
Hmotnost [kg]	38
Stupeň krytí	IP30

Poznámka: Zařízení s ochranou krytí IP30 je chráněno před vniknutím pevných cizích těles od průměru 2,5 mm a před dotykem nástrojem. Takové zařízení není odolné proti vniknutí vody [6].



Obr. 13) Kolaborativní robot ABB YuMi [43]

Kolaborativní robot ABB YuMi je vhodný spíše pro montážní aplikace drobných součástek, kde je kladen důraz na přesnost. Robot lze vybavit několika koncovými efekty na jedné přírubě zároveň. Různými kombinacemi tak lze robot vybavit servo chapadly, dvojitými přísavkami atd. [17, 18].



Obr. 14) Možná provedení koncového efektoru pro kolaborativní robot ABB YuMi [44]

4.5 Aplikace kolaborativních robotů

4.5.1 Druhy spolupráce

Jednotlivé úlohy lze rozdělit podle vzájemného vztahu mezi kolaborativním robotem, obsluhou, pracovním procesem a zpracovávaným předmětem. Toto rozdělení je dáno interakcí a závislostí mezi obsluhou a kolaborativním robotem při provádění zadaného úkolu. Jednotlivé druhy spolupráce lze tedy rozdělit do následujících kategorií [16]:

- Nezávislé

Obsluha (O) a kolaborativní robot (C) provádí každý nezávisle svou pracovní činnost (P_1 a P_2) na své součásti (W_1 a W_2) nezávisle na výrobním procesu. Ke spolupráci v tomto případě dochází pouze sdílením stejného pracoviště, kdy kolaborativní robot není ohraničen bezpečnostními zábranami. Bezpečnost je zde zajištěna bezpečnostními prvky kolaborativního robotu. Současně musí být kolaborativní robot naprogramován tak, aby zohlednil přítomnost člověka v blízkosti.

- Simultánní

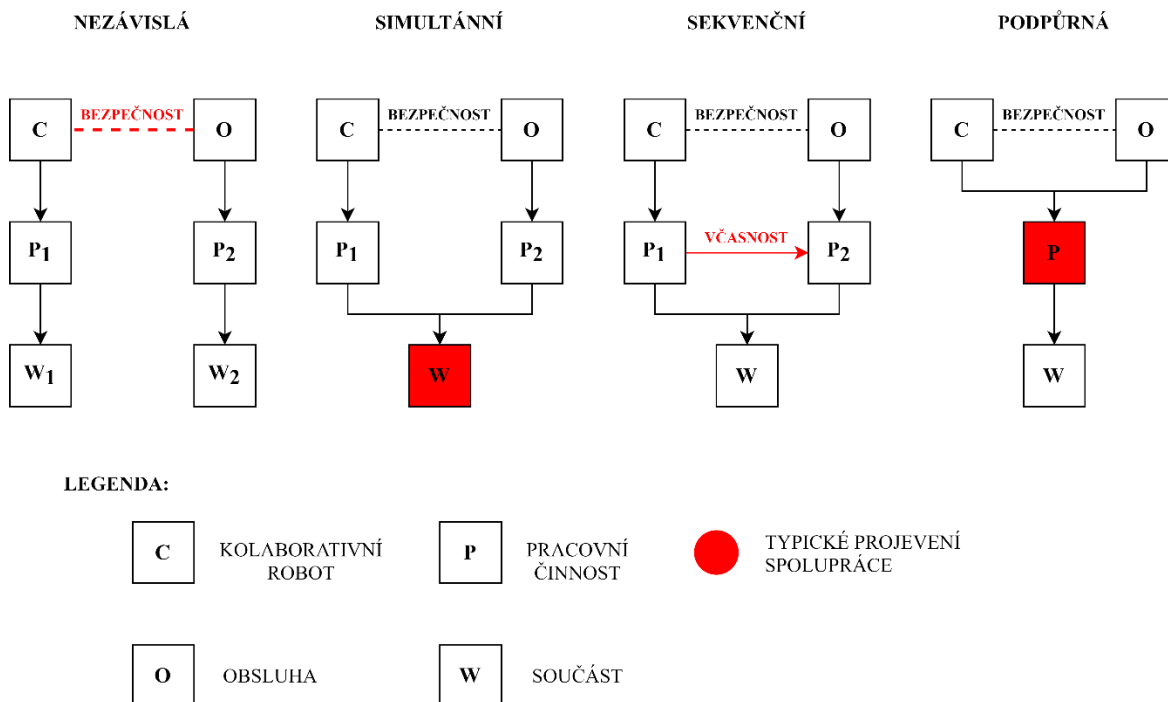
Obsluha (O) a kolaborativní robot (C) současně provádí odlišné pracovní činnosti (P_1 a P_2) na stejné zpracovávané součásti (W). V tomto případě nevzniká žádná časová závislost a obsluha se s kolaborativním robotem nedoplňují při provádění svých činností. Kolaborativní robot je naprogramován tak, aby při vykonávání činnosti nezasahoval do pracovního prostoru obsluhy. Simultánní spolupráce snižuje manipulační časy, protože pracovní činnost na dané součásti je prováděna současně. Tato skutečnost se projeví zvýšením produktivity a snížením potřebného pracovního prostoru.

- Sekvenční

Obsluha (O) a kolaborativní robot (C) provádí na součásti (W) takové pracovní činnosti (P_1 a P_2), které na sebe navazují. Tímto mezi kolaborativním robotem a obsluhou vzniká časová závislost. Například robot provádí na součásti pracovní činnost (P_1), na kterou poté navazuje pracovní činnost (P_2) prováděná obsluhou. Při sekvenční spolupráci kolaborativní robot provádí spíše monotónnější operace, které vedou ke zlepšení pracovních podmínek obsluhy (například zvýšení bdělosti).

- Podpůrné

Obsluha (O) a kolaborativní robot (C) se navzájem doplňují při vykonávání zadané pracovní činnosti (P) na právě zpracovávané součásti (W). Dochází zde k interakci obsluhy s kolaborativním robotem. Vzniká tu posloupnost pracovních úkonů, které jsou na sobě závislé. Takže následující operace nemůže být vykonána bez té předchozí. Kolaborativní robot je naprogramován tak, aby „věděl“, jaký bude zásah obsluhy na právě zpracovávaném kuse. Typickým příkladem je dotahování šroubů obsluhy mezitím co kolaborativní robot drží tento zpracovávaný kus. Kolaborativní robot zde plní funkci podpůrnou s cílem zlepšit ergonomii obsluhy při provádění své činnosti.



Obr. 15) Znárodnění jednotlivých kategorií spolupráce kolaborativního robotu a obsluhy v blokových schématech [16]

4.5.2 Příklady aplikací kolaborativních robotů ve výzkumu

Snahou vědy je plně využít potenciálu kolaborativních robotů a nalézt tak nové možnosti aplikace kolaborativních robotů při kolaborativních činnostech. Níže jsou uvedeny aplikace běžně užívané pro vědecké účely za výrazného užití kolaborativního robotu [16].

Tab 6) Příklady případů spolupráce kolaborativního robotu s člověkem užívaných pro vědecké účely [16]

Případ	Úloha obsluhy	Úloha kolaborativního robotu
Společná manipulace	Obsluha a robot společně drží a přenáší předmět	
	Definovat trajektorii přenášeného předmětu	Přenášet tento předmět
Fixační	Leštit přidržovaný předmět	Držet leštěný předmět podle požadavků obsluhy
Předávání	Přebírat předměty od robotu a umístit je stranou	Předávat předměty obsluze, rychlost předávání se přizpůsobuje podle připravenosti obsluhy
Skládání	Provádět montážní úkony, které jsou podle náročnosti přerozděleny mezi obsluhu a robot	
"Pick and place"	Vybrat předměty k manipulaci	Vybrat vhodný zadaný předmět k manipulaci v závislosti na vzdálenosti, dosažitelnosti a odhadů dalších požadavků obsluhy
Podávání	Převzít podaný nástroj pro vykonání požadovaného úkonu při skládání	Přinést požadovaný nástroj ve vhodný okamžik při skládání
Pájení	Nastavit polohu, ve které robot drží pájecí drát a následně pájí	Držet pájecí drát u místa pájení podle instrukcí obsluhy
Osvětlení	Našroubovat šrouby do požadovaných míst ve špatných světelných podmínkách	Poskytnout potřebný zdroj světla obsluze pro vykonání úlohy
Inspekce	Zašroubovat šrouby do požadovaných míst	Zkontrolovat dotažení a přítomnost šroubů v požadovaných místech, případně upozornit
Vrtání	Definovat body a hloubky vrtání	Vrtat díry v zadaných bodech do požadované hloubky
Dokončovací operace	Zadat povrchy k broušení	Provést broušení povrchů, kdy pohyb je rovnoběžný s povrchem
Šroubování	Nasadit šroub do díry na jedné straně	Dotáhnout šroub z druhé strany

Většinu výše zmíněných případů lze zařadit do skupiny sekvenčních nebo podpůrných druhů spolupráce. Tyto případy poukazují na široké možnosti aplikace kolaborativního robotu při vykonávání manuální práce člověkem [16].

V případě, že se obsluha nachází v blízkosti kolaborativního robotu, je třeba provést zvýšená bezpečnostní opatření. Při nezávislém nebo simultánním typu spolupráce se bezpečnost zajišťuje nastavením a vlastnostmi robotu (například snížená rychlost a detekce kolizí nebo užití senzorů pro měření vzdálenosti, které vyhodnotí přibližující se předmět). Pokročilejší výzkumy využívají k zajištění bezpečnosti vyhodnocení bezkolizní dráhy v reálném čase, která spočívá v detekci předmětů nebo lidí. Se zvyšujícím se stupněm spolupráce jako jsou sekvenční a podpůrná spolupráce je nutné, aby kolaborativní robot „pochopil“, pomocí naprogramovaného algoritmu, podstatu zadané úlohy, úkony vykonané obsluhou a záměr obsluhy. Současně je nutné, aby bylo obsluze umožněno intuitivním způsobem komunikovat s kolaborativním robotem. Ke komunikaci, jak už bylo zmíněno, se využívají gesta, řeči nebo ovládání pomocí jednoduchého uživatelského rozhraní. Tato jednoduchá komunikace umožňuje obsluze naučit kolaborativní robot novým dovednostem, čímž lze kolaborativní robot uplatnit do různých aplikací [16].

Další aplikace kolaborativních robotů ve výzkumu

- Zemědělství – sběr rostlin

Projekt GROWBOT v King's College London je založen na aplikaci kolaborativního robotu během pěstování okrasných rostlin. V tomto projektu je využíván kolaborativní robot Sawyer, který pomáhá pracovníkům ve skleníku sbírat rostliny. Tato aplikace má zajistit zvýšení úrody a sezónních prací. Práce kolaborativního robota spočívá v manipulaci se sazenicemi, bylinkami a dalšími rostlinami [20].



Obr. 16) Kolaborativní robot Sawyer manipulující s rostlinami [20]

- Lékařství – chirurgie

Vědci na Univerzitě Nottingham Trent vyvíjejí 3D model páteře, na kterém pak provádí různé chirurgické zákroky. Tyto zákroky jsou prováděny dvěma kolaborativními roboty UR5. Obsluha ručním naváděním dovede koncový efektor do požadovaného místa, kde bude následně kolaborativní robot provádět zákrok [20].

- Letectví – co-pilotování

Aurora Flight Science, což je vědecký oddíl společnosti Boeing, používá kolaborativní robot UR3 v projektu Robotic Copilot. Od tohoto projektu si společnost slibuje vytvoření takového přenosného a rozšiřitelného rozhraní, které umožní snížit požadavky kladené na

posádku. Kolaborativní robot je umístěný v kokpitu letadla a ovládá na palubní desce jednotlivé prvky letadla, čímž usnadní pilotovi řízení letadla. Kolaborativní robot nahrazuje práci živého kopilota [20].



Obr. 17) Kolaborativní robot Universal Robot UR3 zastávající funkci kopilota [20]

4.5.3 Příklady aplikací kolaborativních robotů v praxi

Výrobní podniky projevují v současnosti velký zájem o implementaci kolaborativních robotů. Důvodem je cenová dostupnost, zabudované bezpečnostní prvky již z výroby a snadná obsluha pomocí dodávaných ovládacích panelů s intuitivním uživatelským rozhraním. Velký zájem o kolaborativní roboty je v malých až středně velkých podnicích, které mají problémy s automatizováním procesů konvenčními průmyslovými roboty. Také velkosériové výrobní podniky, zejména z oblasti automobilového průmyslu, mají velký zájem zahrnout kolaborativní roboty do výroby. Nasazení kolaborativních robotů dokáže velkosériovým výrobním podnikům zajistit konkurenceschopnost a zvýšit jejich úroveň automatizace a výroby [16].

Automobilový průmysl

Do výrobního závodu Ford v Kolíně nad Rýnem byly nasazeny kolaborativní roboty, které provádí nanášení těsnících látek při výrobě karoserií. Jejich nasazením došlo k nahrazení monotónního, špinavého a namáhavého procesu, který dříve vykonával člověk. Činnosti kolaborativních robotů spočívají v nanášení stejného definovaného množství těsnící látky po vždy stejné trajektorii [12].

Výrobní závod společnosti BMW s pobočkou ve Spartanburgu (Jižní Karolína) uvedl do provozu kolaborativní roboty, které se podílejí na výrobě dveří. Jejich úkolem je vybavit dveře automobilů prvky zajišťujícími vodotěsnost a zvukotěsnost. Tato výpomoc při provádění takové monotónní činnosti musí být zároveň precizně provedená a projevuje se zlepšením ergonomie [16].

Automobilka Audi používá kolaborativní roboty UR3 nanášející lepicí hmoty na části střech automobilů. Tato aplikace kolaborativního robotu vyřešila problém s omezeným prostorem ve výrobní hale, protože celá aplikace je navržena tak, aby kolaborativní robot nemusel být od člověka oddělen bezpečnostními zábranami [16].

Výrobní závod firmy Volkswagen využívá kolaborativní robot Kuka pro montáž hnacího ústrojí. Tuto činnost kolaborativní robot provádí v místech, která jsou pro obsluhu

těžko dosažitelná. Kolaborativní robot pracuje vedle člověka, který umísťuje šrouby na jednoduše dosažitelných místech [16].

Nissan používá ve výrobním závodě nacházející se v Yokohamě, kolaborativní roboty UR10, které uvolňují šrouby a přemísťují těžké součásti. Nasazením kolaborativních robotů došlo ke zrychlení výrobních procesů a ušetření fyzické námahy obsluhy při provádění těchto procesů [16].

Škoda využívá kolaborativní roboty Kuka, které se podílí na výrobě převodovek s přímým převodem [16].



Obr. 18) Kolaborativní robot Kuka ve výrobním závodě Škoda Vrchlabí podílející se na výrobě přímo řazených převodovek DQ 200 [46]

Potravinářský průmysl

Řetězce CaliBurger a Dodger Stadium implementovaly do řady svých kuchyní kolaborativní roboty Flippy od společnosti Miso Robotics. Tento kolaborativní robot využívá konstrukce jednotlivých ramen od firmy Fanuc. Kolaborativní roboty v restauracích byly využity na přípravu masa do hamburgerů. Dále kolaborativní roboty využili při obsluze fritéz a grilů [20].

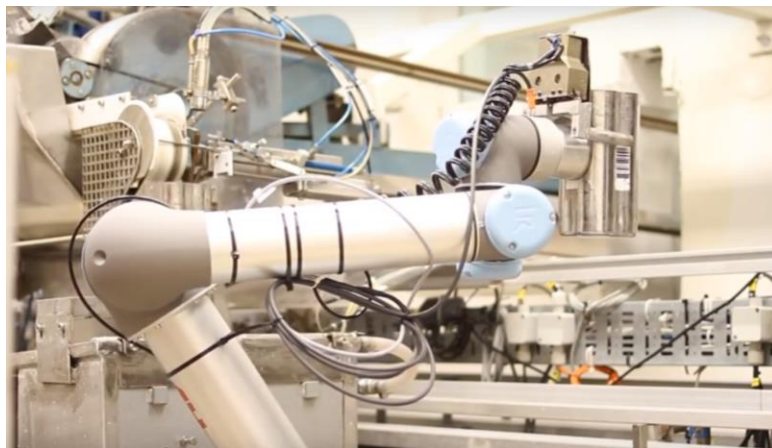
Společnost Royal Caribbean Cruises využívá kolaborativní roboty do robotizovaných kiosků s teplými nápoji tím způsobem, že kiosek na základě přání člověka připraví vybraný teplý nápoj. Tyto robotizované kiosky firma umístila již do řady výletních lodí, hotelů a restaurací na různých místech světa. V kioscích této firmy jsou využívány kolaborativní roboty společnosti Kuka. Další společnost, Café X, využívá stejného principu s tím rozdílem, že v kioscích jsou kolaborativní roboty od firmy Mitsubishi [20].



Obr. 19) Robotizované kiosky s výdejem nápojů Café X [20]

Zemědělství

Cukrovar Nordic Sugar ve Švédsku hledal řešení, pomocí kterého by mohli zaměstnanci jednoduše naprogramovat automat pro vykonávání různých úkolů. Firma se rozhodla vyřešit problém s manipulací a kontrolou kvality aplikováním kolaborativních robotů UR5. Princip činnosti robotů spočívá ve snímání čárových kódů a následné odebrání kontejnerů s cukrovou řepou, které procházejí analýzou z váhy do filtrů a zpět [21].



Obr. 20) Kolaborativní robot Universal Robots UR5 je součástí inspekční linky [21]

Farmaceutický průmysl

Nezisková organizace Aurolab v Indii nabízí léčebné produkty pro odstranění šedého zákalu. Výrobní proces těchto produktů vyžaduje vysoce přesné provedení, které se neustále opakuje. Do tohoto výrobního závodu byly proto nasazeny kolaborativní roboty UR5, čímž bylo dosaženo zlepšení ergonomie a zvýšení celkové produktivity o 15 %. Činnost kolaborativních robotů spočívá například v zakládání jednotlivých přípravků do regálů nebo předávání zpracovávaných přípravků obsluze [22].



Obr. 21) Kolaborativní robot Universal Robots UR5 zakládající přípravky do regálu [22]

Kolaborativní roboty disponují schopností přizpůsobit provedení zadané činnosti tak, aby byly splněny bezpečnostní požadavky v situacích, kdy se v blízkosti nachází člověk. Jelikož jsou jednotlivé činnosti obsluhy a kolaborativního robotu prováděny bez jakékoliv závislosti, není nutné algoritmus kolaborativního robotu vybavit schopnosti pochopení úlohy člověka nebo provádět rozhodnutí. Kolaborativní robot provádí předem definovaný sled úkonů po definované pohybové trajektorii. Tyto aplikace tedy spadají do typu nezávislé nebo

simultánní spolupráce. Zmíněné druhy spolupráce nicméně plně nevyužívají možnosti univerzálního použití kolaborativních robotů a taková implementace kolaborativního robotu může být občas i neúčinná [16].

Oblasti aplikace kolaborativních robotů podle výrobce

Tato část stručně uvádí typické aplikace kolaborativních robotů podle druhu výrobce. Kolaborativní roboty jednotlivých výrobců mají svoji specifickou konstrukci, řídicí systém aj., které následně charakterizují vhodnost využití pro danou aplikaci. Tento fakt se projeví tím, že kolaborativní roboty jednoho výrobce bývají často využívány pro daný typ aplikace, kde podmínky oproti ostatním výrobcům optimálně splňují. V tabulce dále jsou vypsány některé modely kolaborativních robotů, ke kterým jsou uvedeny typické aplikace, pro které bývají často voleny [19].

Tab 7) Modely kolaborativních robotů a jejich typická oblast použití [19]

Model	Výrobce	Typická aplikace
Baxter	Rethink Robotics	První interaktivní výrobní robot využívaný pro balicí aplikace
BioRob	Bionic Robotics	Lehký robot navržený a certifikovaný tak, aby mohl pracovat v bezprostřední blízkosti lidí bez užití dalších bezpečnostních opatření
CR-35iA	Fanuc	Často aplikován do montážních linek v automobilovém průmyslu, dále aplikace týkající se údržby strojů, obrábění kovů a další
PF400	Precise Automation	Vhodný pro zákazníky s malými zkušenostmi s automatizací a pro podporu rychlých montážních operací
Sawyer	Rethink Robotics	Robot navržený pro vykonávání obsluhy strojů, zkoušení desek plošných spojů a dalších přesných úkolů, které je nevhodné automatizovat průmyslovými roboty
Speedy-10	Mabi Robotic	Lehký robot s dobrými tlumícími vlastnostmi, které se hodí do "flexibilní výroby"
UR (obecně)	Universal Robots	Například UR-5 je flexibilní kolaborativní robot vhodný pro optimalizaci kolaborativních procesů, při kterých probíhá manipulace s lehkými předměty (sběr, umístění a testování)

4.6 Kolaborativní roboty na MSV 2019

Na Mezinárodním strojírenském veletrhu 2019 v Brně bylo možné zhlédnout různé demonstrační aplikace kolaborativních robotů.

U stánku firmy Ekobal byl využit kolaborativní robot firmy Fanuc, typu CR-7iA/L na manipulační operaci. Kolaborativní robot zde na pásový dopravník skládal balíky plechovek s nápoji, v každém balíku byly 4 plechovky.



Obr. 22) Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L manipulující s balením plechovek

Stánek společnosti Zlín ROBOTICS prezentoval typickou aplikaci v automobilovém průmyslu. Kolaborativní robot značky Techman typu TM 5-900 dotahuje šrouby na panelu sedadla automobilu.



Obr. 23) Kolaborativní robot Techman TM 5-900 dotahující šrouby panelu sedadla automobilu

Firma PBT Rožnov pod Radhoštěm využila kolaborativního robota Techman typu TM 5-900 k umísťování kostiček do správných políček v mřížce. K rozpoznání správné kostičky je využito 2D kamery. Tato kamera je namontována na přírubě robota. Na stole je před umísťovací mříží nálepka, která slouží jako „záchytný“ bod pro robot, pomocí které dokáže robot najet do správné polohy a umístit do mřížky správnou kostičku. Při vychýlení stanoviště robota dojde k přerušení činnosti. Obsluha musí najet koncovým efektořem robota nad nálepku, 2D kamera zachytí samolepku, pomocí které se robot opět zorientuje v prostoru. Jednotlivá políčka mřížky, do kterých robot umísťuje kostičky, jsou definovány jako přírůstky souřadnic od „záchytného“ bodu, který zde reprezentuje již zmiňovaná samolepka. Díky této samolepce je robot schopen provést úlohu vždy správně.



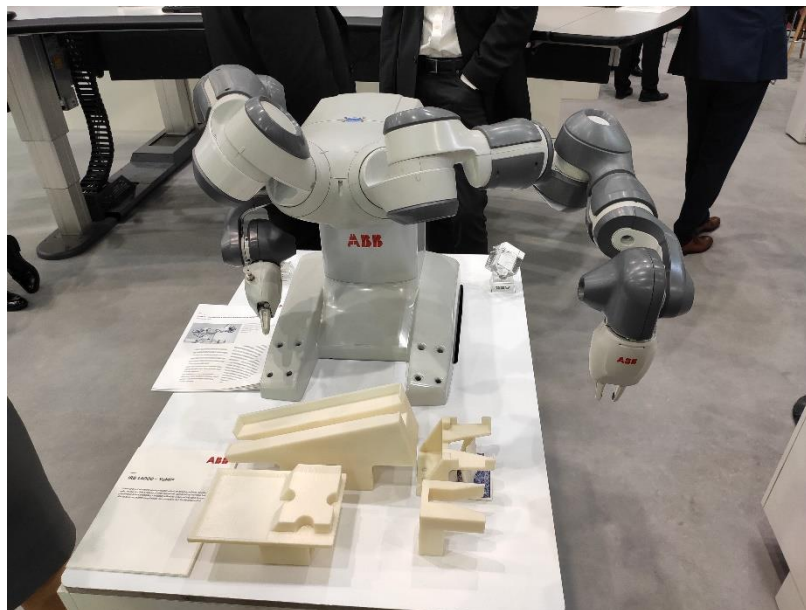
Obr. 24) Kolaborativní robot Techman TM 5-900 umísťující kostičky do příslušných polí

Společnost SCHUNK použila kolaborativní robot UR5 k obrábění dřeva. Obráběcí nástroj je upnut do sklíčidla SCHUNK, který lze nasadit na přírubu kolaborativního robota.



Obr. 25) Kolaborativní robot Universal Robots UR5 obrábějící dřevo

Stánek firmy ABB nabídla přímou interakci člověka s kolaborativním robotem. Dvouramenný kolaborativní robot Yumi – IRB 14000 se spustí po dotyku prstu na plochu koncového efektoru. Robot nabere podtlakovým ejektorem hromádku karet a položí ji na stojan. Následně člověk sejme podle svého uvážení část hromádky, podívá se na první kartu zespodu. Tuto kartu položí na zbylou hromádku neodebraných karet na stojanu a sejmutý odebraný balíček odloží na druhý stojan. Robot následně přesune na poslední stojan původní hromádku karet včetně karty, kterou člověk na hromádku položil. Jelikož má poslední stojan šikmý tvar, karty se zde rozprostřou. Po rozprostření karet kolaborativní robot správně vybere a podtlakovým ejektorem uchopí kartu, kterou člověk položil na balíček.



Obr. 26) Kolaborativní robot ABB YuMi – IRB 14000 hádající karty

5 KONCOVÉ EFEKTORY

Vlastní pracovní ústrojí zakončuje otevřený kinematický řetězec průmyslových robotů a manipulátorů. Pracovní ústrojí (výkonný orgán – koncový efektor – výstupní hlavice) se liší podle činnosti, ke které bude robot použit. Činnosti u PRaM jsou kategorizovány takto [4]:

1. vkládání předmětů do pracovního prostoru výrobních zařízení a jejich vyjímání,
2. mezioperační manipulace,
3. technologické operace,
4. kontrolní operace,
5. speciální práce.

Koncový efektor je možný nasadit na různě koncipovaný robot, přičemž vlastní morfologická stavba robotu a orientační ústrojí zůstává zachována bez větších změn [4].

Koncové efekty PRaM je možné podle konstrukčního charakteru rozdělit na výstupní hlavice [4]:

- technologické,
- manipulační (chapadla),
- kombinované,
- speciální.

Technologické výstupní hlavice

Průmyslové roboty bývají často užívány k provádění technologických operací, které obnáší elektrické svařování, nanášení ochranných materiálů a nátěrových hmot. Mohou to být i takové technologické operace, kterých se průmyslový robot bezprostředně účastní, takovou operací potom vykonává pomocí uzpůsobeného nástroje nebo přímo stroje (např. elektrické ruční brusky) [4].

Technologické výstupní hlavice PRaM se dále dělí na výstupní hlavice pro [4]:

- tavné elektrické svařování: obloukové svařování a odporové svařování bodové,
- stříkání ochranných a nátěrových hmot,
- obrábění nářadí uzpůsobeného obsluhou,
- montážní práce:
 - prosté montáže (sestavování součástí),
 - obsluha automatů (sponkovače, hřebíkovače apod.),
 - lepení,
 - kontrolní operace,
 - speciální práce.

V současnosti bývají některé technologické výstupní hlavice vybaveny senzory, které umožňují činnost adaptivních řídicích systémů [4].

Manipulační (úchopové) výstupní hlavice – chapadla

Tyto výstupní hlavice bývají aplikovány k uchopování předmětů za účelem další manipulace s nimi. Konstrukce chapadel se odvíjí od typu konkrétní aplikace a jsou většinou konstruovány uživateli PRaM na míru. Části hlavic, které bývají v bezprostředním styku s přenášenými objekty, se nazývají „úchopné prvky“. Podle druhu styku s předměty při vyvinutí úchopné síly se úchopné prvky dělí na [4]:

- mechanické,
- magnetické,
- podtlakové.

Přičemž je ještě možné úchopné prvky dělit na [4]:

- pasivní (nemohou regulovat úchopnou sílu a k uvolnění uchopeného předmětu je nutný vnější zásah),
- aktivní (mohou regulovat úchopnou sílu).

Shrnutím těchto zmíněných hledisek lze provést klasifikační schéma úchopných prvků [4]:

Tab 8) Klasifikace úchopných prvků [4]

Mechanické	Pasivní	Pevné a stavitelné opěry
		Pružné a odpružené čelisti
	Aktivní	S hydromotorem
		S pneumotorem
		S elektromotorem
S elektromagnetem		
Magnetické	Pasivní	Permanentní magnety
	Aktivní	Elektromagnety
Podtlakové	Pasivní	Deformační přísavky
		Deformační přísavky s pomocným ventilem
	Aktivní	S vývěvou
		S ejektorem
Speciální		

Kombinované výstupní hlavice

Jejich konstrukce spočívá v kombinaci uchopovacího efektoru (chapatla) a technologické pracovní hlavice. Tyto výstupní hlavice nachází uplatnění při automatizaci manipulace s odlitky u lisů pro plastické hmoty [4].

Speciální výstupní hlavice

Speciálními koncovými efektorů bývají vybaveny roboty, které konají speciální nebo servisní aplikace. Tyto efektorů jsou vybaveny senzory, bez kterých by dané aplikace nebyly proveditelné. Takové vybavení koncových efektorů přispívá do rozvoje adaptivních robotů a robotických systémů [4].

Pro automatizovanou montáž a adaptivitu robotů je nejdůležitější taktilní (hmatový) senzor. Tyto senzory představují sofistikovanější variantu silových, resp. tlakových čidel, které snímají silové a tlakové hodnoty. Nasnímané hodnoty jsou následně převedeny na napěťové impulzy [4].

Speciální výstupní hlavice bývají často uplatňovány ve strojírenských výrobních systémech disponující náročnějšími požadavky, jako jsou manipulace s křehkými a jemnými předměty. Koncové efektorů tohoto charakteru dovolují pracovat na principu „omezování“

předmětu. Uvedený princip spočívá ve snížení dotykové síly do takových hodnot, při kterých dojde ke zjemnění celého deformačního procesu na povrchu předmětu. Toto řešení využívají uchopovací prvky, které se mohou přizpůsobit tvaru uchopovaného předmětu a dovedou jej tak při manipulaci zafixovat v určité poloze [4].

5.1 Koncové efekty pro kolaborativní roboty

Kolaborativní roboty mohou být nasazeny do úloh podobných jako PRaM. Z toho je tedy patrné, že i koncové efekty mohou být stejného charakteru. Zároveň bývají kolaborativní roboty aplikovány do takových úloh, kde se snoubí řada činností různého typu. Proto mohou být jejich koncové efekty kombinovaného nebo speciálního charakteru.

Na trhu lze najít společnosti, které se specializují návrhem koncových efektorů pro kolaborativní roboty. Mezi takové firmy patří například Onrobot a Robotiq.

5.1.1 Onrobot

RG2 GRIPPER

Flexibilní aktivní koncový efektor klešťového provedení sloužící především pro aplikace typu pick and place (zdvihnout a umístit). Konstrukce je navržena tak, aby bylo možné provádět manipulace s předměty různých tvarů. Součástí koncového efektoru je univerzální montážní nástavec Quick Changer, který umožňuje snadnou změnu orientace uchopovací výstupní hlavice a výměnu výstupní hlavice za jinou od výrobce OnRobot. Quick Changer se nasazuje na přírubu kolaborativního robotu. V případě, že není k dispozici montážní nástavec Quick Change, je možné použít ke spojení efektoru s přírubou robotu příkládané spojovací příruby. Maximální nosnost koncového efektoru jsou 2 kg. Uchopovací sílu je možné nastavovat v intervalu od 3 N do 40 N. Běžná citlivost koncového efektoru je okolo 1 N. RG2 váží 0,65 kg a má třídu ochrany IP54. Maximální pracovní rozsah je 100 mm. Souřadnicový systém koncového efektoru lze po namontování na přírubu robotu jednoduše nastavit pomocí uživatelského rozhraní. V případě nasazení koncového efektoru na kolaborativní roboty výrobce Universal Robots je zde ještě možnost provádět automatické výpočty zatížení [23].



Obr. 27) Znáznornění montáže koncového efektoru RG2 GRIPPER [23]

RG6 GRIPPER

Jedná se o aktivní koncový efektor klešťového provedení vyšší řady, který má v porovnání s RG2 GRIPPER robustnější konstrukci. Tato konstrukce umožňuje větší pracovní rozsah. Koncový efektor je vhodný na úlohy typu pick and place, montáže, obsluhování strojů, balení a paletizace. Montáž na přírubu robotu je obdobná jako u koncového efektoru RG2 GRIPPER. Maximální nosnost je 6 kg a pracovní rozsah 160 mm. Uchopovací sílu lze nastavovat v intervalu od 25 N do 120 N. Běžná citlivost je okolo 5 N. Hmotnost koncového efektoru činí 1 kg a třída ochrany je IP54 [24].



Obr. 28) Koncový efektor RG6 GRIPPER [24]

RG2-FT GRIPPER

Představuje aktivní koncový efektor klešťového provedení vybavený senzory snímající veličiny síly a momentu a schopný detekce předmětů pomocí senzoru přiblížení. Koncový efektor je vhodný použít na montážní operace vyžadující zvýšenou přesnost a úlohy typu pick and place. Maximální pracovní rozsah je 98 mm. Uchopovací sílu je možné nastavovat v intervalu od 3 N do 40 N. Senzor přiblížení má rozlišení 2 mm. Senzor síly snímá sílu v ose X a Y s rozlišením 0,1 N a ose Z s rozlišením 0,4 N, momenty v osách X a Y s rozlišením 0,008 Nm a ose Z s rozlišením 0,005 Nm. Maximální nosnost koncového efektoru jsou 2 kg. Hmotnost koncového efektoru je 0,77 kg [25].



Obr. 29) Koncový efektor RG2-FT GRIPPER [25]

GRIPPER VG10

Jedná se podtlakový aktivní koncový efektor pro kolaborativní robot. Podtlakové ejektory jsou umístěny ve středu a na ramenech koncového efektoru. Konstrukce se vyznačuje čtyřmi stavitelnými rameny, na každém rameni jsou tři přísavky a ve středu koncového efektoru je čtveřice přísavek. Jednotlivé přísavky je možné libovolně měnit podle vhodnosti a lze nasadit i přísavky od jiných výrobců. Koncový efektor nepotřebuje externí přívod stlačeného vzduchu, čímž dojde ke zjednodušení údržby a snížení provozních nákladů. Koncový efektor umožňuje zvýšit produktivitu pomocí tzv. duálního úchopu, kterým lze nezávisle ovládat pravé a levé rameno. Typické aplikace, na které lze koncový efektor aplikovat jsou pick and place, paletizace a obsluhování strojů. Maximální nosnost koncového efektoru je 10 kg a váží 1,7 kg. Třída ochrany je IP54 [26].



Obr. 30) Koncový efektor GRIPPER VG10 [26]

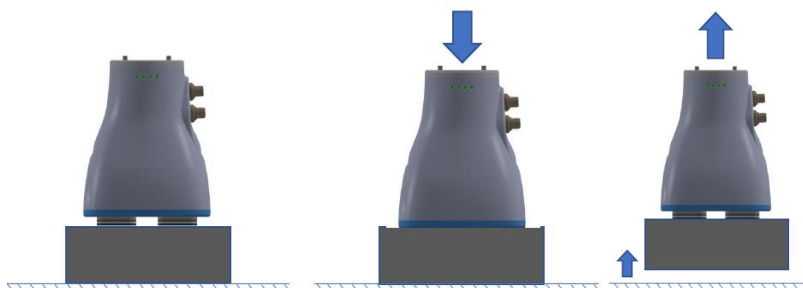
GECKO GRIPPER

Koncový efektor, jehož úchopné prvky (čtyři adhezivní destičky) jsou tvořeny z milionů mikroskopických vláken. Princip uchopování spočívá ve Van der Waalsovým silách, které vznikají vzájemnou silovou interakcí mezi molekulami. K vyvinutí uchopovací síly není potřeba stlačený vzduch. Uchopovací síla se projeví tzv. předběžným zatížením, které závisí na druhu manipulovaného předmětu a podmínkách aplikace. Koncový efektor je vhodný zejména na úlohy pick and place, u kterých je schopen opatrně manipulovat s libovolnými typy plochých a hladkých předmětů. Tento koncový efektor umožňuje provádět manipulace i u předmětů s otvory, u kterých je manipulace pomocí podtlakových ejektorů obtížná. Koncový efektor je vybaven ultrazvukovým senzorem, který snímá přiblížení a detekuje přítomnost objektu. Maximální možná nosnost je 8,2 kg, tato hodnota je ovlivněna materiálem a opracováním ploch manipulovaného předmětu. Hmotnost koncového efektoru je 2,4 kg a disponuje třídou ochrany IP54 [27,28].



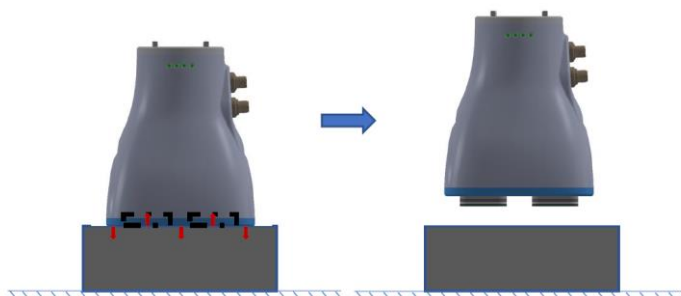
Obr. 31) Koncový efektor GECKO GRIPPER [28]

Princip manipulace spočívá v najetí koncového efektoru s adhezivními uchopovacími destičkami nad manipulovaný předmět. Následně se provede předběžné zatížení, čímž dojde ke stlačení destiček a vyvolání potřebné adheze (přilnavosti). Po předběžném zatížení se adhezivní destičky vysunou a drží předmět, se kterým lze manipulovat [28].



Obr. 32) Princip uchopení předmětu koncovým efektem GECKO GRIPPER [28]

K uvolnění předmětu dojde opětovným zasunutím adhezivních destiček, celý proces uvolnění trvá přibližně 500 ms [28].



Obr. 33) Princip uvolnění předmětu koncovým efektem GECKO GRIPPER [28]

5.1.2 Robotiq

SANDING KIT

Jedná se o technologický koncový efektor sloužící k provádění broušení povrchů. Lze brousit čelně i obvodově kovové, plastové, dřevěné, sklolaminátové povrchy a povrchy z uhlíkových vláken. Brousící koncový efektor je řízen pneumatikou, kdy pneumatické hadičky vstupují do prostoru s nástrojovou hlavou. Broušená plocha se definuje pomocí trajektorie, kdy obsluha umísťuje koncový efektor do jednotlivých bodů trajektorie, po kterých se následně samotný proces broušení provádí. Zadávání jednotlivých bodů trajektorie tedy probíhá pomocí ručního navádění. K definování trajektorie stačí zadat 6 bodů, zbylé body jsou přiloženým softwarem od výrobce dopočítávány. Komunikace mezi obsluhou a nástrojem probíhá prostřednictvím tabletu, který je vybaven potřebným softwarem dodávaným výrobcem. SANDING KIT je možné namontovat pouze na kolaborativní roboty UR řady UR5e a UR10e. Maximální možný pracovní tlak vyvinutý pneumatikou je 6,2 bar. Maximální otáčky pracovního vřetene jsou $12000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Přesnost polohování s tímto koncovým efektem je 0,2 mm. Celková hmotnost tohoto koncového efektoru je 0,42 kg [29].



Obr. 34) Koncový efektor SANDING KIT [29]

3-FINGER ADAPTIVE ROBOT GRIPPER

Koncový efektor je tvořen třemi prsty. Jednotlivé prsty umožňují přizpůsobit své kontaktní plochy podle manipulovaného předmětu. Tento koncový efektor je vhodný do aplikací typu pick and place, testování, ovládání strojů a montážní úlohy. Uchopení předmětů je možné provést pomocí konečků jednotlivých prstů nebo sevřením předmětu do dlaně koncového efektoru. Uchopovací proces je možné provádět ve 4 různých režimech [30]:

1. Basic mode – univerzální způsob uchopení, který je nejvhodnější aplikovat pro uchopení předmětů, u nichž je jeden rozměr větší oproti zbylým rozměrům.
2. Wide mode – vhodný pro uchopení kulatých a dlouhých rozměrů.
3. Pinch mode – zaměřen na uchopení menších předmětů, kde jsou současně kladeny požadavky na přesnost manipulace. Uchopení předmětů v tomto režimu je možné pouze konečky prstů koncového efektoru.
4. Scissor mode – uchopení drobných předmětů, tento režim je zároveň z uvedených režimů nejpřesnější. Uchopení v tomto režimu probíhá pouze dvěma prsty umístěných vedle sebe na stejné straně, třetí prst na protější straně se uchopování nepodílí.



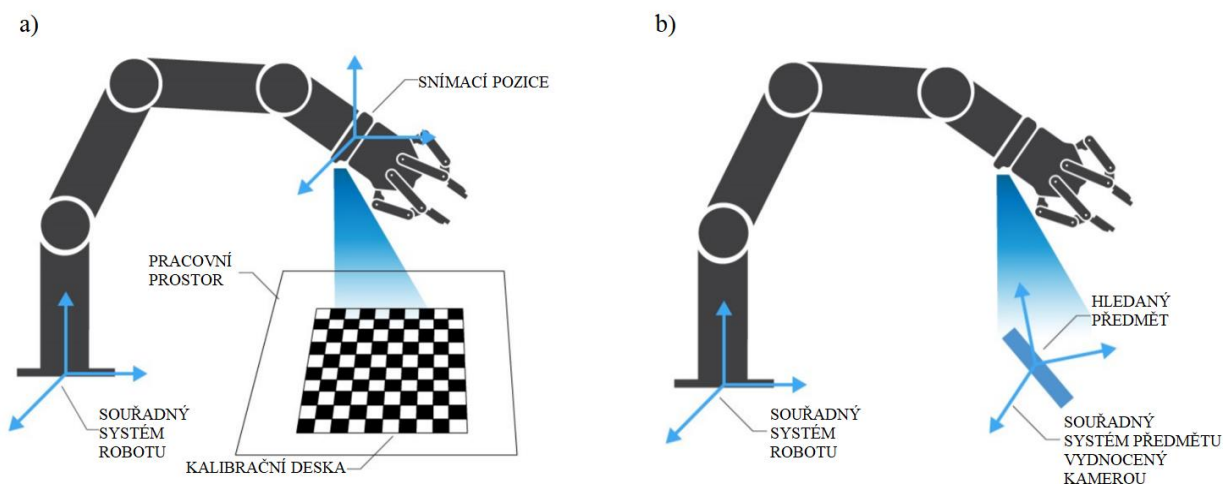
Obr. 35) Režimy uchopení předmětů koncového efektoru 3-FINGER ADAPTIVE ROBOT GRIPPER [30]

Maximální rozevření prstů je 167 mm, přičemž největší možný předmět k manipulaci má průměr 155 mm. Nosnost koncového efektoru při uchopení prsty je 2,5 kg a při sevření do dlaně pak 10 kg. Uchopovací síla, kterou je možné jednotlivými prsty vyvinout se pohybuje v intervalu od 30 N do 70 N. Hmotnost koncového efektoru je 2,3 kg [30].

WRIST CAMERA

WRIST CAMERA je 3D kamera a umísťuje se mezi přírubu robotu a koncový efektor. Jedná se spíše o nadstavbu, kterou lze koncový efektor a současně kolaborativní robot vybavit. Kamera umožňuje čtení čárových kódů a snímání dvou rozměrných ploch, i rozlišení různě uspořádaných i neuspořádaných předmětů, včetně barev. Vhodným programováním je možné využít kolaborativní robot k manipulaci předmětů se zadanými parametry, které se nachází mezi dalšími předměty podobných nebo jiných parametrů. Kameru lze využít i na úlohy typu Bin Picking spočívající ve vybírání různě naskládaných předmětů z bedny, kde vyhodnocení probíhá pomocí 3D snímku. Pro zlepšení světelných podmínek, které mají zásadní vliv na provedení celé úlohy, je kamera vybavena šesti zdroji LED bílých světél. WRIST CAMERA je schopna pomocí dodávaného rozhraní Vision System automaticky rozeznat polohu a orientaci předmětu. Ke zjištění polohy využívá souřadnic v osách X, Y a orientaci osu Z [31].

Ke zjištění polohy předmětu je nejdříve nutné kameru umístit do tzv. snímací pozice, ze které je definováno zorné pole, a tím i celé pracovní prostředí. Snímané pracovní prostředí je zpracováno rozhraním Vision System, přičemž velikost pracovního prostředí je definována zorným polem kamery. Zároveň se v pracovním prostředí musí nacházet kalibrační deska a předměty, se kterými je následně prováděna příslušná činnost. Kalibrační deska slouží k „zorientování“ robotu v prostoru. Ve snímací pozici (definována obsluhou) zároveň kamera vždy na začátku každého pracovního cyklu provede fotografický snímek, na základě následného vyhodnocení snímku je nalezena kalibrační deska a požadovaný předmět. Software poté napočítá vzdálenost mezi kalibrační destičkou a manipulovaným předmětem. Tímto způsobem jsou získány souřadnice předmětu, do nichž je koncový efektor napolohován nad požadovaný předmět a dále je provedena požadovaná operace [31].



Obr. 36) a) Princip orientace kamery v prostoru, b) Princip nalezení předmětu [31]

Čas vykonání cyklu je možné zrychlit vyloučením provádění snímku na začátku každého pracovního cyklu. Pro úspěšné vykonání celého úkolu zrychleným způsobem je nutné mít pracovní prostředí v ustálené poloze tak, že nesmí dojít k přemístění jednotlivých předmětů

na pracovní ploše. Stačí přemístit pouze jeden předmět a kamera nebude již schopna změnu polohy tohoto přemístěného předmětu zaznamenat, protože provedení snímku se provedlo pouze na začátku, a to při počátečním hledání kalibrační destičky [31].

Manipulovaný předmět kamera rozpozná pomocí rozhraní Vision Systemu. Je doporučeno provést několik snímků požadovaného předmětu při různých světelných podmínkách a z různých pohledů, čímž lze zajistit větší pravděpodobnost, že bude požadovaný předmět rozeznán [31].

Rozlišení jednotlivých snímků pořízené kamerou jsou v rozsahu 0,3 Mpx až 5 Mpx. Snímkování je v rozsahu 2 FPS až 30 FPS. Hloubka ostroty je alespoň 70 mm. Hmotnost kamery včetně montážní příruby činí 0,23 kg [31].

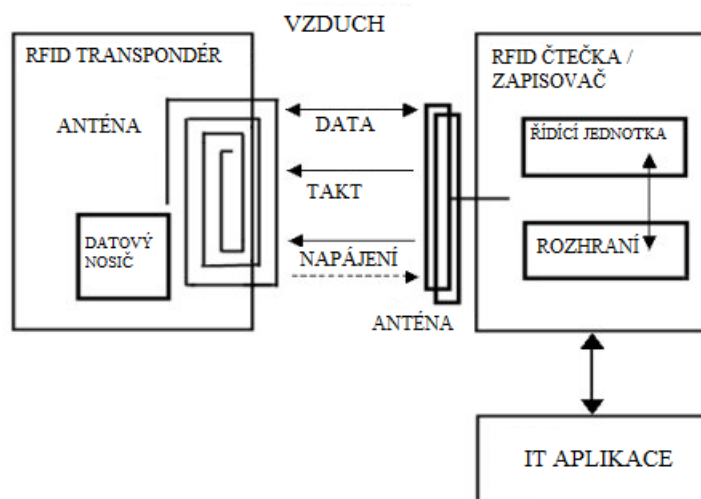


Obr. 37) 3D kamera WRIST CAMERA [31]

6 RFID TECHNOLOGIE

6.1 Princip

RFID (Radio Frequency Identification) neboli radiofrekvenční identifikace je metoda automatické identifikace, která probíhá pomocí radiové komunikace mezi čtečkou a identifikačním prvkem – transpondérem RFID. Čtečka může být zároveň i zapisovačkou, závisí na druhu aplikace. Komunikace probíhá tak, že čtečka vytvoří pro přenos dat magnetické nebo elektromagnetické pole, který slouží jako zdroj energie pro pasivní transpondér RFID. Výměna dat může probíhat, pokud se transpondér RFID nachází ve vytvořeném magnetickém nebo elektromagnetickém poli čtečky. Z čipu v transpondéru RFID je možné informace načítat a ukládat nové informace. Z vysílaného signálu transpondér RFID odpovídá vysíláním svého identifikačního čísla nebo odesíláním obsahu své datové paměti. Identifikační číslo je pro každý čip RFID jedinečný [32, 33].



Obr. 38) Princip komunikace mezi RFID čtečkou a pasivním RFID transpondérem [34]

6.1.1 Komunikační frekvence

Existuje řada různých způsobů, jakým RFID systémy pracují. Příkladem může být frekvence, prostřednictvím které mezi sebou čtečka a transpondér RFID komunikují. Podle frekvence se rozlišují tři skupiny RFID [32]:

- LF – nízká frekvence (125 kHz nebo 134 kHz),
- HF – vysoká frekvence (13,56 MHz),
- UHF – ultra krátké vlny (868 MHz pro Evropu).

Transpondéry RFID využívají dvou typů přenosu energie, která závisí na tom, zda je přenosová frekvence nižší nebo vyšší než mezní hodnota 100 MHz. Při frekvenci nižší, než je 100 MHz, se energie přenáší pouze magnetickým polem a využívá se tak induktivní vazby. Této vlastnosti využívá RFID tag, který pracuje s frekvencí 13,56 MHz. Pro frekvence nad 100 MHz, což je oblast UHF, se energie přenáší elektromagnetickým polem [34].

Je možné nalézt i systémy RFID, které pracují s jinými frekvencemi např. 2,4 GHz. Tyto odlišné frekvence však moc využívány nejsou. Dále jsou zavedeny standardy, které definují

komunikační protokol pro přenos dat mezi čtečkou a tagem, obsahem paměti tagu a způsob zabezpečení informací uložených v tagu. Pomocí těchto standardů je také možné ověřit, že příslušná čtečka a tag budou schopny mezi sebou komunikovat. V tabulce dále je uveden standard a k ní příslušná oblast použití [32].

Tab 9) Významy používaných standardů RFID [32]

Standard	Frekvenční pásmo	Použití
ISO 15693	LF (125 kHz nebo 134 kHz)	Obecné použití
ISO 1443	HF (13,56 MHz)	Identifikace osob
ISO 18000-6	UHF (868 MHz)	
EPC – definuje strukturu a obsah informace v čipu RFID		Logistika a obchod

Vlastnosti a oblasti použití podle frekvenčních pásem

Zasílání dat se liší podle frekvenčního pásma. Transpondéry RFID s induktivní vazbou jsou schopny samy generovat a vysílat modulový signál k přijímači. U transpondérů s rádiovou vazbou zase dochází ke změně některých parametrů antény, což následně ovlivňuje i charakter odraženého signálu. Každou komunikační frekvenci je proto možné díky svým fyzikálním vlastnostem spolehlivě využít pouze v určitých oblastech [34]:

Komunikační frekvence LF 125 kHz nebo 134 kHz

- Čtecí dosah do 0,5 m.
- Výhody:
 - větší odolnost proti rušení,
 - možnost upevnit v blízkosti vody,
 - možnost upevnit na kovovou podložku (např. na sud).
- Nevýhody:
 - malý čtecí dosah
 - malá komunikační rychlost
 - velká anténa
 - velké provedení RFID tagu
 - drahé provedení RFID tagu.
- Použití:
 - kontrola přístupu
 - identifikace zvířat
 - imobilizéry automobilů,
 - identifikace kovových předmětů.

Komunikační frekvence HF 13,56 MHz

- Čtecí dosah do 1 m.
- Výhody:
 - menší rozměry antény a tím i menší rozměry tagu,
 - větší komunikační rychlost než u LF,
 - nízká cena RFID tagu,

- celosvětově standardizovaná frekvence.
- Nevýhody:
 - kovové podložky a voda výrazně snižují čtecí dosah a ruší komunikaci.
- Použití:
 - chytré karty,
 - bezkontaktní placení,
 - chytré etikety,
 - označování zavazadel při přepravě,
 - záznam a přenos dat,
 - sledování identifikačních kódů palet při přepravě a ve skladech.

Komunikační frekvence UHF 860–960 MHz

- Čtecí dosah do 3 m.
- Výhody:
 - možnost vzdáleného čtení (identifikace průjezdem brány),
 - velká přenosová rychlost,
 - možnost větší kapacity RFID tagu,
 - levná výroba.
- Nevýhody:
 - nečitelné přes kapaliny,
 - obtížné čtení na kovových podložkách
 - celosvětově nejednotná frekvence,
 - problémy s odrazem signálu způsobené okolními kovovými konstrukcemi.
- Použití:
 - současná identifikace více zabalených produktů,
 - elektronické mýtné,
 - parkovací karty,
 - sledování toku vratných obalů,
 - sledování skupinových balení při přepravě a ve skladech.

Komunikační frekvence 2,4 GHz

- Čtecí dosah do 2 m.
- Výhody:
 - vysoká přenosová rychlost až $2 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$,
 - malé rozměry dipólové antény,
 - malé tagy.
- Nevýhody:
 - drahá a složitá konstrukce,
 - velký vliv rušení od kovů, kapalin atd.
- Použití:
 - elektronické mýtné,
 - identifikace zavazadel při letecké přepravě,
 - bezdrátový záznam a přenos dat v reálném čase.

6.1.2 Principy komunikace podle frekvenčních pásem

- Spojení LF a HF transpondérů

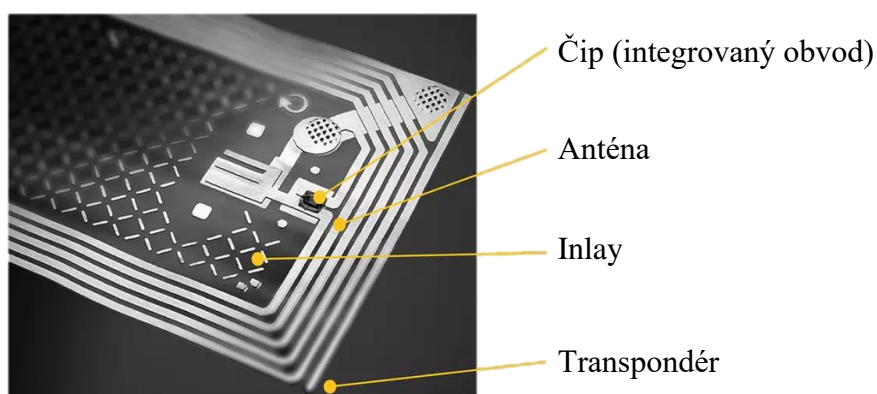
Vysílačka emituje pomocí anténové cívky elektromagnetické pole, které následně zachytí transpondér. Díky tomuto elektromagnetickému poli je do antény transpondéru indukován proud, který slouží jako zdroj energie. Tato energie slouží k zajištění činnosti transpondéru. K vyslání vlastního signálu dojde pomocí spínacích okruhů, kde dochází k cílenému a načasovanému tlumení proudu. Prostřednictvím této změny pole, kterou zachytí vysílačka, dochází k digitální komunikaci [34].

- Spojení UHF transpondérů

Vysílačka emituje pomocí elektromagnetické cívky pole, které zachytí transpondér. V anténě transpondéru pak elektromagnetické pole indukuje elektrický proud. Tento naindukovaný proud dodává energii k pohánění transpondéru. Transpondér pak moduluje nosný signál, který zachytí vysílačka a tím je umožněna komunikace [34].

6.2 Tag RFID

Tag RFID je konečné provedení označovacího prvku RFID. Tag je možné umístit na výrobek, který má být označen. Transpondér RFID může být různých tvarů, velikostí, barev a složen z různých materiálů. Samotná stavba transpondéru závisí podle případu použití. Transpondér RFID se skládá ze dvou částí. První část představuje alespoň jeden mikročip a druhá část obsahuje tištěnou, složenou nebo leptanou anténu. Čip a anténa se souhrnně nazývá „Inlay“. Inlay je citlivý na okolní vlivy, takže je snahou zamezit jakémukoliv působení mechanických, teplotních či chemických vlivů. Z těchto důvodů se inlay musí patřičným způsobem zapouzdřit, a to podle typu aplikace. Tag RFID se skládá z inlaye (čip RFID a anténa zprostředkující rádiovou komunikaci) a zapouzdření. Anténa u RFID tagů pracujících s frekvencemi pod 100 MHz je dále tvořena několika měděnými čtvercovými závity. Tyto závity jsou umístěny okolo čipu na nosné podložce. U RFID tagů pracujících s frekvencemi nad 100 MHz je anténa dipólová analogicky jako u televizních antén [32, 33, 34].



Obr. 39) Stavba transpondéru RFID

Nejjednodušší způsob zapouzdření je uplatněn na štítku RFID, kdy je inlay chráněn pouze fólií nebo vrstvou papíru. U dalších tagů RFID se dále používá zapouzdření, jako jsou plastové kotoučky, karty, krabičky nebo keramická pouzdra, která jsou odolná vůči vyšším

teplotám. Existuje také zapouzdření, které tlumí elektromagnetické rušení při umístění tagu o frekvenci HF nebo UHF na kovový povrch [32, 33].



Obr. 40) Možná provedení RFID tagů [46]

Cena samotného čipu nebo inlaye je výrazně nižší než cena kompletního tagu (včetně zapouzdření). V případě papírové etikety se cena pohybuje v řádech korun, u odolně zapouzdřených tagů je pak cena v řádech stovek korun. Cena je také zásadně ovlivněna objednávaným množstvím, takže cena 100 kusů je výrazně vyšší než při koupi milionu tagů [32].

Tagy RFID lze dělit podle potřebné energie pro odesílání informace [32]:

- Tagy RFID pasivní – nemají vlastní zdroj napájení. Pro odesílání informace se využívá energetické přeměny rádiového signálu čtečky na elektrický proud. Vysílací výkon takového tagu je velmi malý, který se projeví krátkou vzdáleností, na níž může tag komunikovat. Komunikační vzdálenost se pohybuje v rozmezí centimetrů až několik metrů, přičemž na vzdálenosti několika metrů mohou komunikovat pouze RFID tagy na frekvenci UHF, a to jen za příznivých podmínek.
- Tagy RFID aktivní – jsou vybaveny vlastním napájecím zdrojem, čímž je dosaženo větších komunikačních vzdáleností mezi čtečkou a tagem. Komunikační vzdálenost může dosahovat až stovek metrů. Toto vybavení se projeví rozměry výsledného tagu a rovněž i jejich cenou. Aktivní RFID nachází uplatnění v kontejnerové dopravě, kdy podle ceny zboží není problém investovat i do dražších aktivních tagů.

Inlay se ještě provádí s adhezní zadní stranou, čímž je možné Inlay jednodušeji umísťovat na různé povrchy nosičů. Takové Inlaye se označují jako RFID Wet Inlay, přičemž se opět skládají z antény a čipu [35].

6.3 Čtení a zápis RFID

Nejčastěji se v praxi využívají transpondéry RFID s pamětí 4 Byty až 8 kiloBytů. 4 Byty postačí k uložení jednoho jednoznačného čísla, 8 kiloBytů umožní uložit až 4 stránky strojopisu, složených ze 30 řádků po 60 znacích. Některé čipy mohou být dále vybaveny i ochranou proti

přepisování, zabezpečím PIN kódem, zakódováním obsahu dat. Výbava čipu je volena podle požadované úrovně bezpečnosti a podle použití [33].

S rostoucí použitou frekvencí roste i vzdálenost čtení, která ovšem není konstantní a je ovlivněna několika vlivy. Mezi nejzásadnější vlivy patří typ prostředí (kov, voda), typ a velikost antén čtečky i tagu a orientace tagu vzhledem ke čtečce. Parametry čtečky uváděné v dokumentaci jsou tedy pouze orientační, protože tyto hodnoty jsou uváděny v příznivých podmínkách. V případě, že je v dané aplikaci využíván i zápis informací do tagu RFID, je nutné brát na vědomí i vzdálenost zápisu. Tato vzdálenost je několikanásobně menší než maximální vzdálenost čtení. Čtečka se proto umísťuje ve vzdálenosti, kdy je možný bezpečný zápis do tagu [32].

V případě frekvence UHF je nezanedbatelným parametrem polarizace antény. Ta může být buď [32]:

- lineární, kdy je důležitá orientace antény čtečky vzhledem k anténě tagu,
- cirkulární, kdy orientace antén nehraje zásadní vliv.

U systémů RFID pracujících s frekvencemi UHF je možné používat v oblasti logistiky a obchodu hromadné čtení desítek až stovek tagů. Příkladem může být například průjezd nákupního vozíku pokladnou, kdy dojde k automatickému načtení všech položek nebo průjezd kamionu do skladu branou se čtečkami RFID a načtení všech palet [32].

6.4 Čtečky RFID

Čtečky RFID bývají v mobilním nebo stacionárním provedení. Mobilní čtečka představuje kompaktní počítač vybavený čtecím modulem RFID s řadou možností způsobů komunikace a programování. Realizace systémů je s mobilní čtečkou jednodušší. Stacionární čtečka bývá pevně namontována do výrobní linky, na dopravník ve skladu atd. a je zapojena k podnikovému informačnímu systému prostřednictvím komunikační sítě. Anténa u stacionární čtečky je buď zabudovaná v těle čtečky, nebo je kabelem připojena ke čtečce (v tomto případě je připojeno více antén). Stacionární čtečka disponuje větším počtem analogových nebo digitálních vstupů a výstupů, zároveň je možné ji vybavit senzory pohybu, světelnou signalizací a dalšími zařízeními. Realizace systému se stacionární čtečkou bývá komplikovanější, protože je potřeba provádět více zkoušek a hledat vhodná rozmístění antén [32].



Obr. 41) Možná provedení RFID čteček [47]

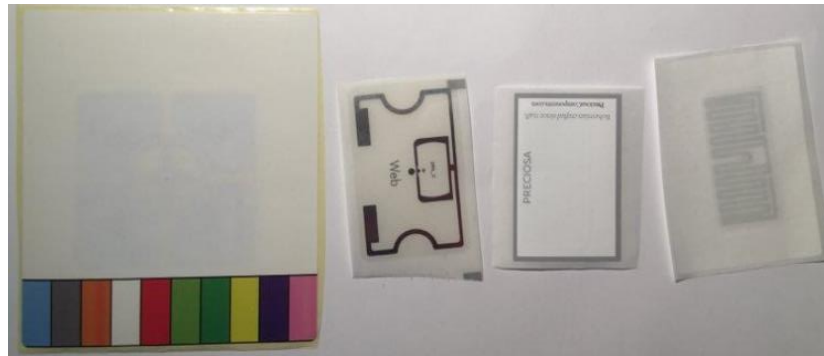
6.5 Shrnutí

RFID tagy představují obdobu čárových kódů. Hlavní rozdíl spočívá v rozdílném způsobu čtení. U čárových kódů probíhá způsob čtení na optické bázi. Dalším výrazným rozdílem je zápis, u čárového kódu nelze za použití čtečky zápis změnit ani do něj nelze nic zapsat. Kdežto RFID tagy mohou být navrženy tak, aby bylo umožněno jejich opakovanému přepisování paměti, jejíž velikost může být až několik tisíc bitů. Zároveň je umožněno i zapisování informací do jejich paměti. Typickým rozdílem je i možnost zapouzdření, kdy je možné tagy nasadit do pracovně nepříznivějších podmínek. Tato možnost se uplatňuje u označování výrobků, které prochází procesem lakování a vypalování nebo u obalů nápojů, které procházejí procesem mytí. U těchto uvedených aplikací by bylo užití čárových kódů nemožné [32].

Ovšem i přes zmíněné výhody nedošlo k původnímu předpokladu, kdy se uvažovalo o tom, že RFID nahradí čárové kódy. Volba jedné metody identifikace může být pro danou aplikaci vhodnější a logičtější než druhá, takže ve výsledku se obě metody spíše doplňují [32].

7 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

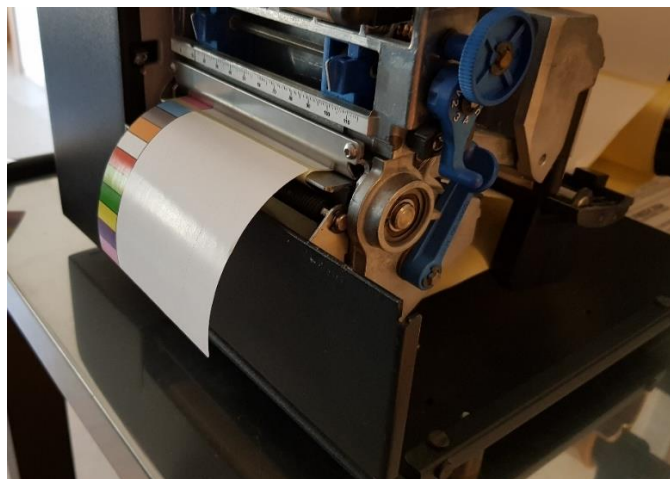
Dle zadání je potřeba navrhnout koncový efektor, který vhodným způsobem odebere štítek (manipulovaný předmět) z výstupní tiskové hlavy tiskového zařízení. Způsob uchopení odebíraného štítku musí být takový, aby došlo k co nejmenšímu ohybu štítku. Z toho plyne, že při odebrání je potřeba vyvinout co největší možnou kontaktní plochu mezi uchopeným štítkem a přísavkou.



Obr. 42) Uvažované manipulované předměty

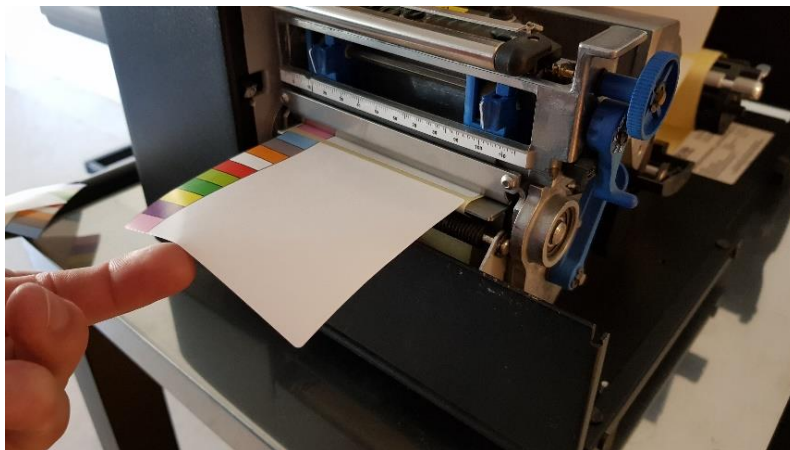
7.1 Popis činnosti

Pro výdej štítků je použito tiskového zařízení tisknouceho na termotransferové bázi. Do tiskového zařízení se založí vstupní médium – role průběžného papíru se samolepkami. Po zahájení pracovního cyklu se role průběžného papíru začne postupně odvíjet přes soustavu kladek v tiskovém zařízení. Postupným průchodem štítku tiskovým zařízením, dojde štítek do tiskového místa, kde se provádí natištění tiskového vzoru pomocí fólie za působení tepla a tlaku na jeho nelepivou plochu. Dalším odvíjením se štítek dostává do výstupního místa tiskového zařízení, kde dochází k oddělení štítku od jeho podkladu – průběžný papír. K odlepení štítku od podkladu dochází pomocí ohnutí podkladového papíru o 180 stupňů na nožové hlavě umístěné ve výstupním místě tiskového zařízení, současně se štítek dále odvíjí ven z tiskového zařízení. Po dokončení pracovního cyklu tiskového zařízení je štítek vydán, přičemž část štítku zůstává ještě přilepena na podkladu, tak aby nedošlo k jeho vypadnutí. To, jak moc má být štítek po vydání přilepen na podkladu, lze na tiskovém zařízení nastavit.



Obr. 43) Způsob vydání štítku z tiskového zařízení

Po vydání štítku má dojít k jeho uchopení pomocí koncového efektoru umístěného na kolaborativním robotu. Způsob uchopení má být takový, aby nedošlo k ohnutí uchopeného štítku, to by zapříčinilo jeho následné nepřesné umístění na umísťovaný předmět – primární nosič. Z toho plyne, že uchopení musí být provedeno tak, aby došlo ideálně k co největší kontaktní ploše mezi odebraným štítkem a přísavkou.



Obr. 44) Požadovaná poloha štítku vůči nožové hlavě při jeho odebrání

7.2 Požadavky na koncový efektor

Na navržený koncový efektor jsou dle zadání kladeny tyto požadavky:

- zajištění vysoce přesného snímání médií (konvenční label – štítek a wet-RFID inlay) z odlepovacích hran vstupních tiskových a programovacích modulů Konvertoru RFID labelů na pracovní plochu efektoru,
- pod tlakem stabilizovat média na pracovní ploše pro přesun ramene kolaborativního robotu k primárnímu nosiči,
- zajištění vysoce přesného uvolnění média ze své pracovní plochy v okamžiku jeho umísťování na primární nosič,
- zajištění univerzálnosti konstrukce aktuátoru koncového efektoru pro potřeby různých geometrických rozměrů obou vstupních médií,
- kompaktní rozměry a nízká hmotnost koncového efektoru (cca do 3 kilogramů),
- dobrá dostupnost komponent pořízených nákupem, popřípadě vlastní výrobou v dílnách ústavu.

Jednotlivé požadavky jsou plněny v následujících kapitolách. Vždy je provedena rekapitulace řešeného požadavku, doplněná o požadavky dílčí, které vyplynou při řešení.

7.3 Způsob řešení zadané problematiky

Konečný koncový efektor bude v závislosti na uvedených požadavcích řešen následujícím postupem:

1. Volba vhodného kolaborativního robotu.
2. Provedení více konstrukčních návrhů koncových efektorů a následný výběr nejvhodnější varianty.
3. Provedení návrhových výpočtů jednotlivých komponent tvořících pneumatický obvod.
4. Verifikace provedených výpočtů zvolených komponent na zjednodušeném pneumatickém obvodu a zjištění provozuschopnosti při stanovených provozních podmínkách.
5. Provedení konečného konstrukčního řešení zvolené varianty koncového efektoru s ohledem na provedené zkoušky provozuschopnosti.

8 VOLBA ROBOTU A KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU KONCOVÉHO EFEKTORU

Pro volbu robotu a konstrukce koncového efektoru je zvolena bazická bodovací metoda. Princip této metody je popsán v následující kapitole.

8.1 Metoda multikriteriálního hodnocení

Se souhlasem vedoucího této diplomové práce, Radka Knoflíčka, byla provedena citace následujících odstavců, které popisují princip této metody.

Při výběru nového zařízení, výrobku či obecně technického objektu, má konstruktér obvykle možnost si zvolit jednotlivé komponenty ze široké nabídky dostupné na trhu. Před konečným rozhodnutím zvolené varianty je však vhodné provést ověření, která varianta se jeví jako ta nejvhodnější pro daný případ. K tomuto problému lze přistupovat buď subjektivně (nadřazená restrikce naznačí, „kdo by měl vyhrát“ po vyhlášení hospodářské soutěže a ukončení výběru dodavatele) nebo je možné provést expertní posudky od nezávislých odborníků. Ovšem jako rozumné se jeví použití systematických a racionálních metod práce, které využívají objektivizující matematický aparát. V tomto případě je zvolena poslední možnost, kdy za využití metod systémového přístupu lze současně srovnávat například několik nabídkových projektů na dodávku výrobku (stroje, zařízení apod.), nebo provádět výběr z množství několika variantních řešení (například projekty) [48, 49].

Cílem hodnocení, například nabídkových projektů, je souhrnně vyjádřit technickoekonomickou (dále jen TE) úroveň jednotlivých návrhů a určit pořadí jejich výhodnosti. Porovnání TE úrovně technických objektů (nejen výrobků ale i technologických procesů, racionalizačních návrhů hodnotové analýzy ap.) je obtížné proto, že TE úroveň je popisována soustavou TE parametrů, o různých jednotkách. Problém přímé nesčitatelnosti hodnot parametrů se musí řešit různými způsoby agregace těchto hodnot tak, aby bylo možné vyjádřit TE úroveň jedinou hodnotou. K tomuto účelu bylo vypracováno několik postupů, souhrnně označovaných jako metody multikriteriálního hodnocení [48, 49].

Každý předkládaný projekt má obvykle dvě stránky [48, 49]:

- Technickou, která vyjadřuje funkční vlastnosti projektu a její úroveň je definována stupněm plnění všech funkcí projektu $S^{\circ}F_j$.
- Ekonomickou, která vyjadřuje náklady na zabezpečení těchto funkcí N .

Zatímco náklady A lze poměrně snadno zjistit, neboť jednotlivé nákladové položky mají stejné jednotky a jsou tedy sčitatelné, stupeň plnění funkcí je třeba určit právě pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení. Pak teprve lze určit poměrnou efektivní hodnotu (PEH) každého projektu a podle klesající hodnoty PEH projekty seřadit [48, 49].

$$PEH = \frac{S^{\circ}F_j}{A} \quad (1)$$

Nejužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou [48, 49]:

- bazická bodovací metoda,
- metoda pořadí,
- metoda PATTERN.

8.1.1 Bazická bodovací metoda

Protože se obvykle předkládané varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, patří tato metoda mezi metody multikriteriálního hodnocení. Hodnocená hlediska jsou vyčíslitelná, a to významně zjednodušuje proces hodnocení. Použitím bazické bodovací metody se porovnává hodnocená varianta se vzorovým řešením – vzorovým etalonem – bází [48, 49].

Hodnocení konkrétní varianty probíhá jak po stránce technické (označení τ), tak i po ekonomické (označení ξ). Technická i ekonomická hodnota varianty se posléze umísťuje do roviny hodnotícího diagramu ($\xi = f(\tau)$), kde je její výhodnost patrná ze vztahu k jiným, rovněž zaneseným variantám. Stručnou podstatu metody a postup při aplikaci lze uvést v následujících bodech [48, 49]:

- nejprve je třeba provést reprezentativní výběr parametrů (vlastností). Je třeba vyloučit vzájemně závislé parametry. Jejich počet by měl být omezen na podstatné a spolehlivě zjištělé.
- stanoví se bodovací stupnice, která hodnotí buď kvalitativní, nebo kvantitativní hodnoty parametrů.
- určí se významnost (váha) parametrů.
- provede se hodnocení

Technická hodnota τ

- A) Při identifikaci varianty se hodí celá řada faktorů, parametrů a vlastností, které označíme jako T_1, T_2, \dots, T_n , tj. $T(1, \dots, n)$
- kde: n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností
 - n = obvykle (1-100)
- B) Hodnotu každého faktoru, parametru a technické vlastnosti vyjádříme pomocí třídníku t_1, t_2, \dots, t_j se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. : $t(1, \dots, j)$
- kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti
 - t_j = maximální hodnota
 - s kvantifikací a se slovním hodnocením: $t_1 = 0$ = nevyhovující (min)
 - $t_2 = 1$ = velmi slabé
 - $t_3 = 2$ = vyhovující
 - $t_4 = 3$ = dobré
 - $t_5 = 4$ = velmi dobré
 - $t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%), (max.)

Doporučený rozsah stupnice třídníku: $t(1, 6)$ nebo $t(1, 10)$ atd. I když je hodnocení faktorů subjektivní je však podloženo objektivně zjištěnými parametry a vlastnostmi.

- C) Hodnocený faktor, parametr, vlastnost lze vyjádřit i procentuálně:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (2)$$

- D) Relativní technická hodnota n -tého faktoru, parametru, vlastnosti je pak:

$$T_n * t_j \quad (3)$$

- E) Význam (váhu) jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak dle důležitosti rozlišíme koeficienty $g_n (\leq 1)$, tedy:

$$0 \leq g_n \leq 1 \quad (4)$$

F) Technický stav hodnocené varianty dle a různých hledisek je pak:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 * t_1, g_2 * t_2, \dots, g_j * t_j, \dots, g_n * t_n) \quad (5)$$

G) Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j * t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j * t_{max}} = \frac{g_1 * t_1 + g_2 * t_2 + \dots + g_n * t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * t_j} \leq 1 \quad (6)$$

- kde: g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti
- n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností
- V procentuálním vyjádření: $\tau \leq 100 \%$
- Konečná technická hodnota (např. zcela nového, továrně vyrobeného produktu) činí: $\tau = 100 \%$

8.2 Volba robotu

Na výběr jsou 3 kolaborativní roboty. Porovnáním jejich technických parametrů a vlastností bude pomocí bazové bodovací metody vybrán ten, který se nejvíce hodí pro zadanou problematiku. Do volby robotu bude zahrnována i vlastnost flexibilita, která umožňuje použití robotu i do jiných aplikací.

Budou posuzovány tyto 3 roboty: Universal Robot UR5e, Kuka LBR iiwa 14 R820 a ABB YuMi.



UR5e



Kuka LBR iiwa 14 R820



ABB YuMi

Obr. 45) Porovnávané kolaborativní roboty

8.2.1 Posuzované vlastnosti

- T1) Nosnost – ze zadání plyne, že koncový efektor má mít hmotnost nejvýše 3 kg, proto je potřeba brát na tuto veličinu zřetel. Pokud bude nosnost robotu nižší než 3 kg a zároveň by takový robot vyšel jako nejvhodnější, o to více bude muset být kladen důraz na nízkou hmotnost koncového efektoru. Zároveň je brán ohled i na budoucí využití robotu do jiné aplikace, která ještě není známa, a proto čím větší nosnost bude robot mít, tím lépe jej bude možné využít i do diametrálně odlišných aplikací.
- T2) Dosah – tato veličina hraje důležitou roli při měnících se podmínkách během vykonávání pracovní rutiny. Je uvažována taková situace, kdy kolaborativní

robot nebude umísťovať manipulovaný predmet pokaždé na stejné miesto. Vyšší dosah robotu proto umožňuje jeho širší využití.

T3) Opakovatelná přesnost – jelikož ze zadání plyne, že snímání médií má být v řádech desetin milimetrů, je potřeba vybrat robot, který tento požadavek splňuje. Přesnější opakovatelná přesnost umožňuje použít robot na preciznější úkoly.

T4) Hmotnost kolaborativního robotu – tato veličina není u zadané problematiky tak zásadní, nicméně pokud se uvažuje o budoucím nasazení robotu na jiné úlohy, která s sebou nese i přestavení celého pracoviště nebo přemístění robotu na jiné pracoviště, tak robot s nižší hmotností umožní jeho lepší přemístění.

T5) Cena – vzhledem k současné situaci dá zákazník přednost produktu, který je levnější než ostatní, a to i za předpokladu horších technických vlastností.

Tab 10) Tabulka hodnocení kolaborativních robotů

n	VLASTNOST	UR5e				Kuka LBR iiwa 14 R820				ABB YuMi			
		t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n
1	T1	4	0,9	25	3,6	5	0,9	20	4,5	1	0,9	100	0,9
2	T2	4	0,8	20	4	3	0,8	33,33	2,4	2	0,8	50	1,6
3	T3	4	0,9	25	3,6	2	0,9	50	1,8	5	0,9	20	4,5
4	T4	5	0,5	20	2,5	1	0,5	100	0,5	2	0,5	50	1
5	T5	5	0,7	20	3,5	2	0,7	50	1,4	3	0,7	33,33	2,1

Konečné technické hodnocení τ :

Tab 11) Tabulka konečného technického hodnocení τ pro jednotlivé roboty

Varianta	τ
1 UR5e	0,67
2 Kuka LBR	0,46
3 ABB YuMi	0,43

Odhad jednotlivých cen porovnávaných robotů byl proveden na základě cen uvedených ve zdrojích [50, 51, 52]. K převodu uvedených cen na české koruny byl použit kurz ke dni 12.2.2020 (1 EUR = 24,58 CZK, 1 USD = 22,84 CZK). Cena robotu Universal Robots UR5e se pohybuje okolo 23900 EUR (asi 593900 CZK). Cena robotu Kuka LBR iiwa 14 R820 se pohybuje okolo 75000 USD (asi 1712360 CZK). Cena robotu ABB YuMi se odhadem pohybuje okolo 60000 USD (asi 1369790 CZK).

Jako nejvhodnější volba se na základě této hodnotící metody jeví kolaborativní robot Universal Robot UR5e, a to i navzdory horší opakovatelné přesnosti oproti ABB YuMi a menší nosnosti oproti Kuka LBR iiwa 14 R820. UR5e v tomto srovnání vyniká svojí kompaktností, kdy je možné robot snadněji přemísťovat a vkládat do dalších linek díky jeho nižší hmotnosti. UR5e měl ze srovnávaných robotů také nejlepší dosah. Robot tak vykazuje jeho univerzální využití napříč různými aplikacemi. Jednotlivé návrhy koncových efektorů budou vyhotoveny pro zvolený robot UR5e. Technické specifikace zvoleného robotu jsou uvedeny v příloze A

UR5e TECHNICKÉ SPECIFIKACE, výběr technických specifikací ostatních srovnávaných kolaborativních robotů jsou uvedeny v kapitole 4.4.

8.3 Volba konstrukčního návrhu koncového efektoru

Vzhledem k tomu, že byl zvolen kolaborativní robot UR5e, požadavek týkající se celkové hmotnosti koncového efektoru se nemění, tj. maximální hmotnost musí být 3 kg. Uvedené hmotnosti jednotlivých koncových efektorů jsou zjištěny pomocí SW Autodesk Inventor Professional 2018. V konstrukčních variantách jsou voleny jednostupňové podtlakové ejektory, důvodem je dostačující výkon a menší rozměry v porovnání s vícešupňovými.

8.3.1 Konstrukční varianta 1

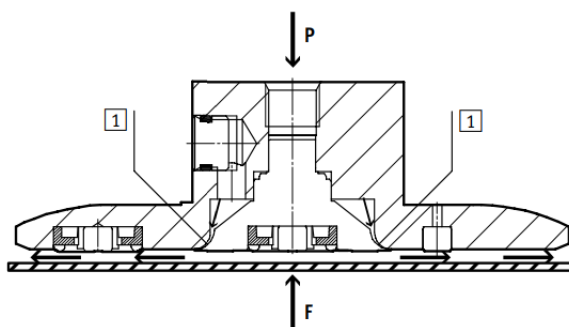
Tato konstrukční varianta využívá bezkontaktního uchopení předmětu pomocí „Bernoulliho chapadla“ (viz dále).



Obr. 46) Konstrukční varianta 1

Princip úchopu

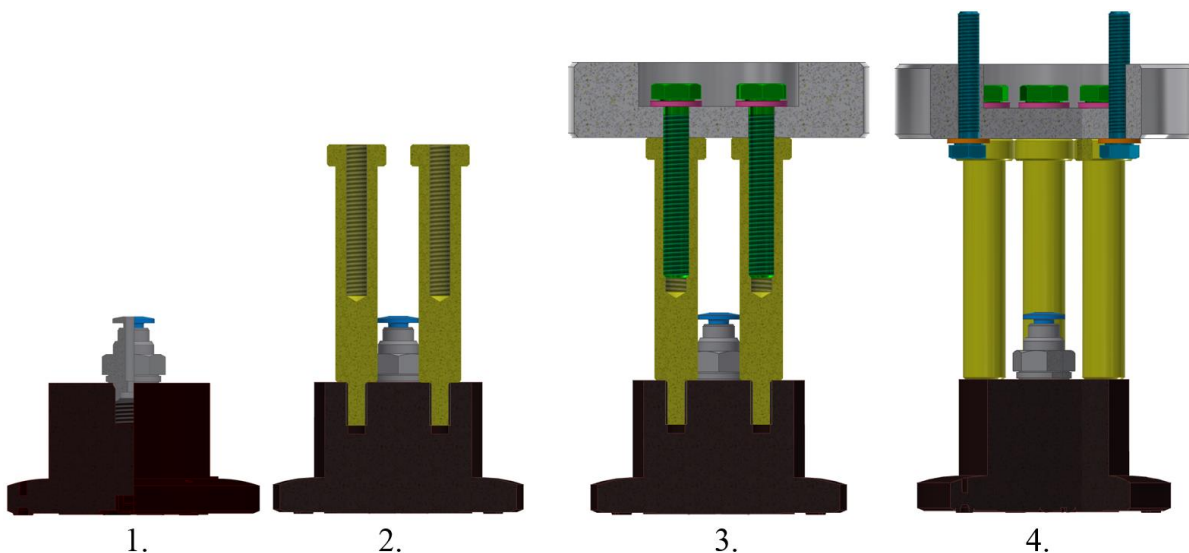
Stlačený vzduch je na vstupu chapadla (P) veden radiálním směrem a proudí ven mezi manipulovaným předmětem a povrchem chapadla. Vzduch je v chapadle veden tenkou štěrbinou (pozice 1) a k jeho urychlení dochází mezi tělesem chapadla a jádrem chapadla. Takto urychlený proud vzduchu vychází z chapadla a vytváří podtlak (F) mezi chapadlem a manipulovaným předmětem. K zajištění volného odvodu vzduchu je chapadlo vybaveno ještě distančními prvky [53].



Obr. 47) Princip úchopu pomocí Bernoulliho chapadla [53]

Montáž koncového efektoru

1. Montážní matice (šedá součást), která má na jednom konci vnější závit a na druhém fitinku (modrá součást), se zašroubuje shora do Bernoulliho chapadla (černá součást). Na fitinku (modrá součást) se nasune hadička, která přivede stlačený vzduch.
2. Čtveřice závitových spojek (žlutá součást) se pomocí vnějšího závitu zašroubují do montážních otvorů Bernoulliho přísavky (černá součást).
3. Závitové spojky (žlutá součást) umožňují propojení mezi spojovací přírubou (šedá součást nahoře) a Bernoulliho chapadlem (černá součást). K propojení dojde pomocí zašroubování čtveřice šroubů (zelená součást), na kterých jsou nasunuty podložky (růžová součást).
4. Spojení vzniklého koncového efektoru s přírubou robotu je realizováno pomocí čtveřice montážních šroubů (tyrkysová součást), na kterých jsou nasunuty ploché podložky (oranžová součást).



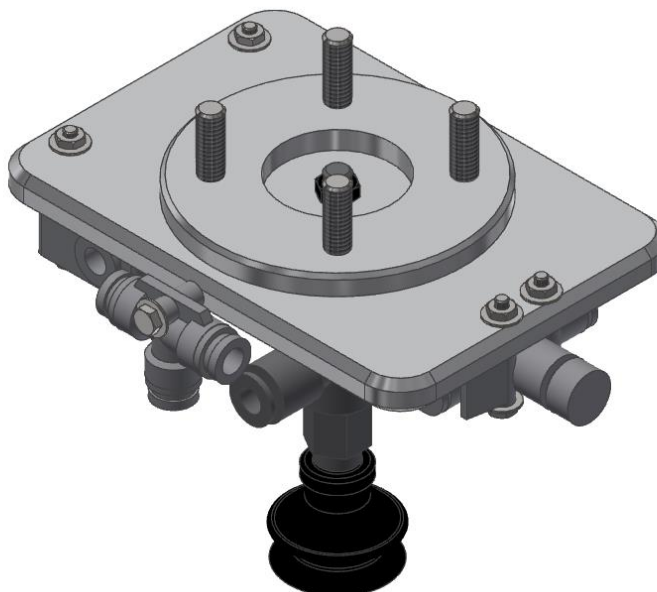
Obr. 48) Montážní postup první konstrukční varianty

Shrnutí

Bernoulliho chapadlo dokáže z přivedeného stlačeného vzduchu vytvořit vakuum nutné pro vyvinutí úchopu, proto odpadá nutnost užití podtlakového ejektoru. Toto chapadlo je vhodné i pro manipulaci s porézními předměty, přičemž po uvolnění nezanechává žádné stopy po kontaktu na manipulovaném předmětu. Hmotnost koncového efektoru je přibližně 464 gramů.

8.3.2 Konstrukční varianta 2

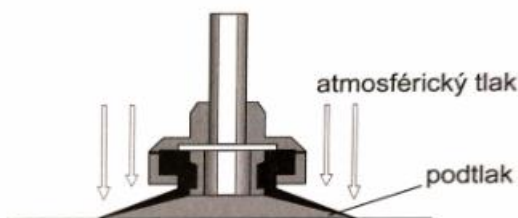
Tato konstrukční varianta využívá k úchopu měchové přísavky.



Obr. 49) Konstrukční varianta 2

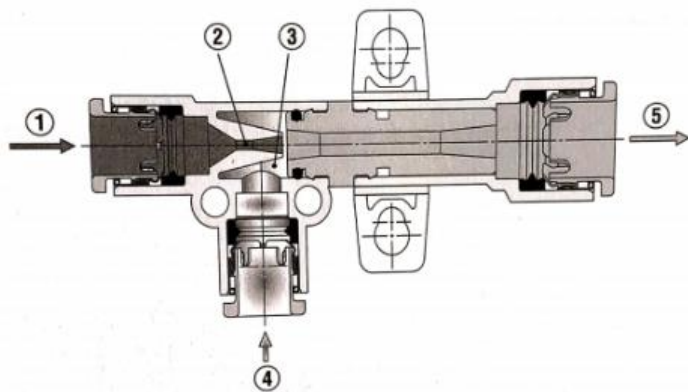
Princip úchopu

Snížený tlak na hodnotu pod atmosférickým tlakem v uzavřené nádobě má stejnou potenciální energii jako tlak v nádobě, který je zvýšen o stejnou hodnotu, ale nad atmosférickým tlakem. Ve skutečnosti se přísavka na manipulovaný předmět nepřisaje, ale je na něj přitlačena atmosférickým tlakem [54].



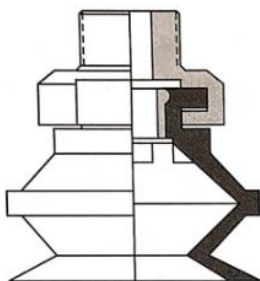
Obr. 50) Princip přísavky [54]

Ke snížení tlaku pod hodnotu atmosférického tlaku se používají buď mechanické vývěvy nebo podtlakové ejektory. Mechanické vývěvy jsou poháněny elektromotory a celkově se pro zadanou aplikaci nehodí, jelikož mají vysokou pořizovací cenu, mají dlouhý rozběh a doběh, potřebují častou údržbu a při jejich provozu se zahřívají. Tyto nedostatky podtlakové ejektory nevykazují, navíc jsou dodávány v kompaktních rozměrech a mají obecně menší hmotnost. Podtlakové ejektory pracují na principu Venturiho trubice a jako zdroj energie používají přivedený stlačený vzduch do vstupní trysky ejektoru (pozice 1), který je v zúžené části trysky (pozice 2) urychlen a poté je v následném prostoru (pozice 3) s dalším nasátým okolním vzduchem přes hrdlo (pozice 4) jeho tlak snížen, tímto dojde k vytvoření podtlaku. Proud vzduchu z trysky (pozice 1) společně s přisátým vzduchem z hrdla (pozice 4) odchází přes hrdlo ejektoru (pozice 5) do atmosféry přímo anebo přes nasunutý tlumič hluku [54].



Obr. 51) Řez jednostupňovým podtlakovým ejektorem [54]

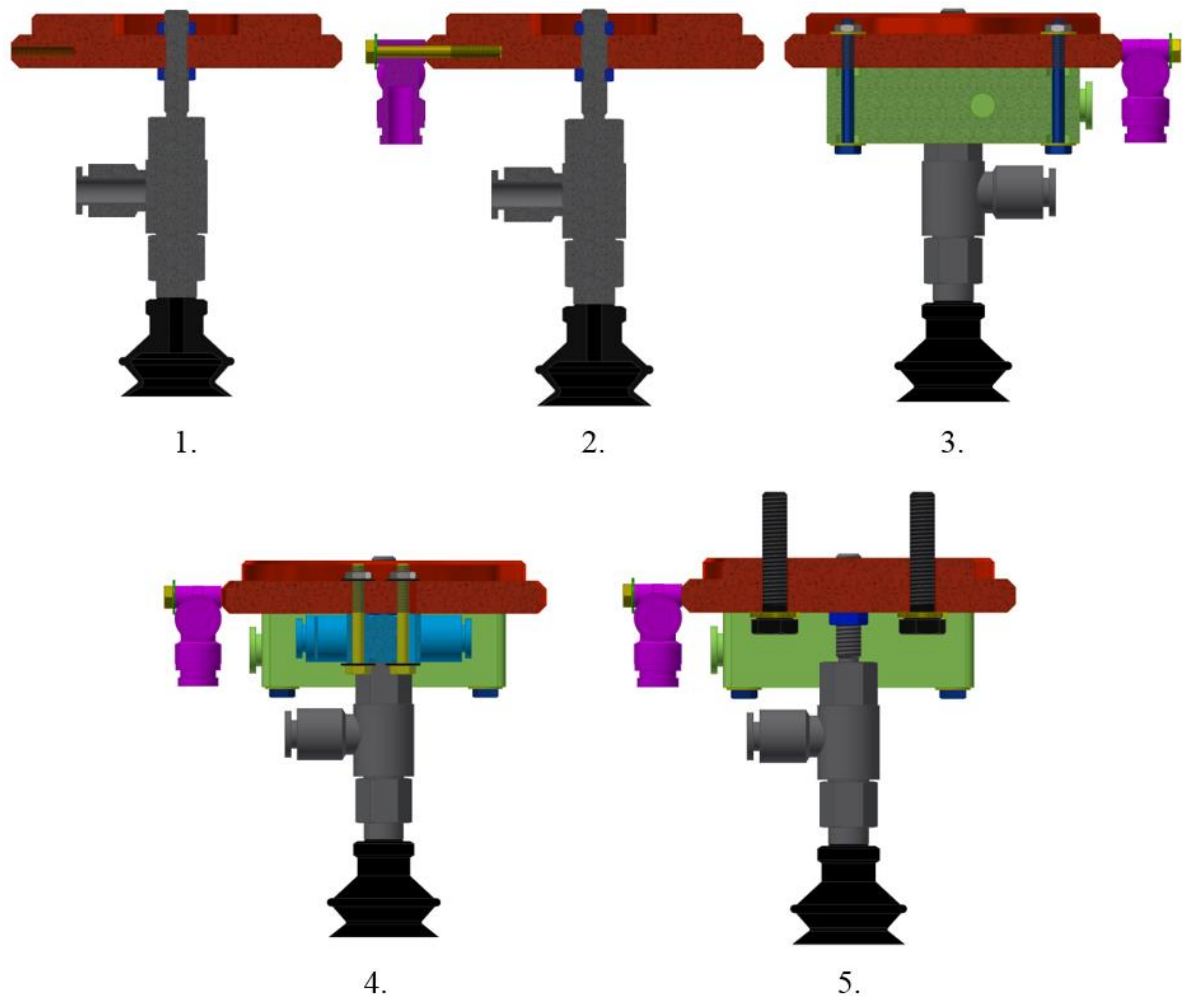
Pro přísátí předmětu je zvolena měchová přísavka, která dokáže kompenzovat menší výškové rozdíly způsobené nerovnostmi uchopovaného předmětu [54].



Obr. 52) Částečný řez měchovou přísavkou [54]

Montáž koncového efektoru

1. Na spojovací přírubu (červená součást) se přes středový otvor nasune přísavka s bočním vedením vakua (šedočerná součást). Spodní maticí (spodní modrá součást) na vnějším montážním závitu (šedá součást) přísavky se nastaví výšková poloha spojovací příruby. Pomocí kontramatice (horní modrá součást) se nastavená poloha příruby vůči přísavce výškově zafixuje.
2. T-spojka (fialová součást) se k přírubě (červená součást) zafixuje pomocí šroubu (žlutá součást) a podložky (zelená součást) přes vyvrtaný vnitřní závit v přírubě.
3. Podtlakový ejektor (bledě zelená součást) se ke spojovací přírubě (červená součást) zafixuje pomocí dvojice šroubů (tmavě modrá součást), matic (šedá součást) a čtveřice podložek (tmavě žlutá součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech podtlakového ejektoru a spojovací příruby.
4. Škrticí ventil (světle modrá součást) se ke spojovací přírubě (červená součást) zafixuje pomocí dvojice šroubů (žlutá součást), matic (šedá součást) a čtveřice podložek (černá součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech škrticího ventilu a spojovací příruby.
5. Koncový efektor je spojen s přírubou robotu přes čtveřici montážních šroubů (černá součást) a podložek (žlutá součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech spojovací příruby (červená součást).



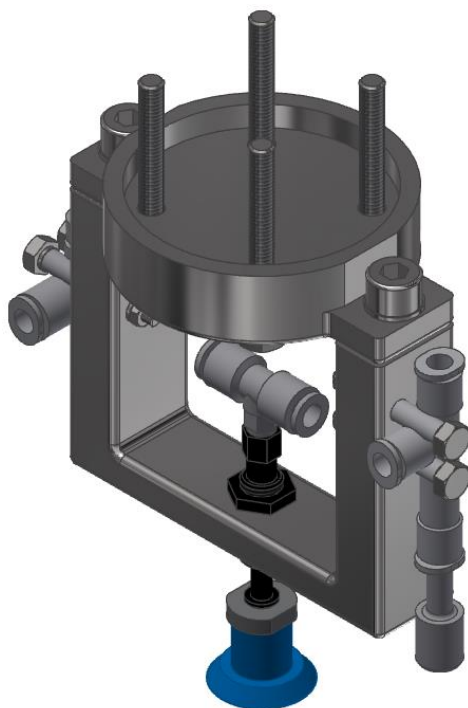
Obr. 53) Montážní postup druhé konstrukční varianty

Shrnutí

Zvolená měchová přísavka má v této konstrukční variantě boční přívod vakua. Přívod stlačeného vzduchu k uvolnění předmětu a přívod vakua k uchopení předmětu je realizován pomocí t-spojky. Zvolený jednostupňový podtlakový ejektor je v kompaktním skříňovém provedení a má v sobě zabudovaný tlumič hluku. Uvolnění předmětu je regulováno manuálním nastavením škrticího ventilu prostřednictvím matice. Jak už bylo zmíněno, měchová přísavka je schopna se přizpůsobit různým výškovým rozdílům povrchu manipulovaného předmětu, avšak na úkor toho má malou boční tuhost, čímž je snížena její přesnost při ukládání předmětů. Hmotnost koncového efektoru je přibližně 772 gramů.

8.3.3 Konstrukční varianta 3

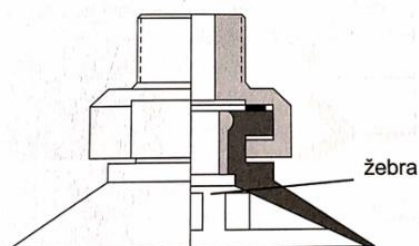
Tato konstrukční varianta využívá k úchopu předmětu plochou přísavku s tenkým lemem a opěrnými žebry.



Obr. 54) Konstrukční varianta 3

Princip

Princip úchopu je stejný jako u varianty 2 s tím rozdílem, že je k úchopu použita přísavka s tenkým lemem a opěrnými žebry. Tato přísavka umožňuje uchopovat bez deformace předměty z poddajných materiálů (papír, fólie). Opěrná žebra uvnitř přísavky jsou tuhá a zvětšují kontaktní plochu mezi předmětem a přísavkou, potřebnou k přenosu předmětu [54].

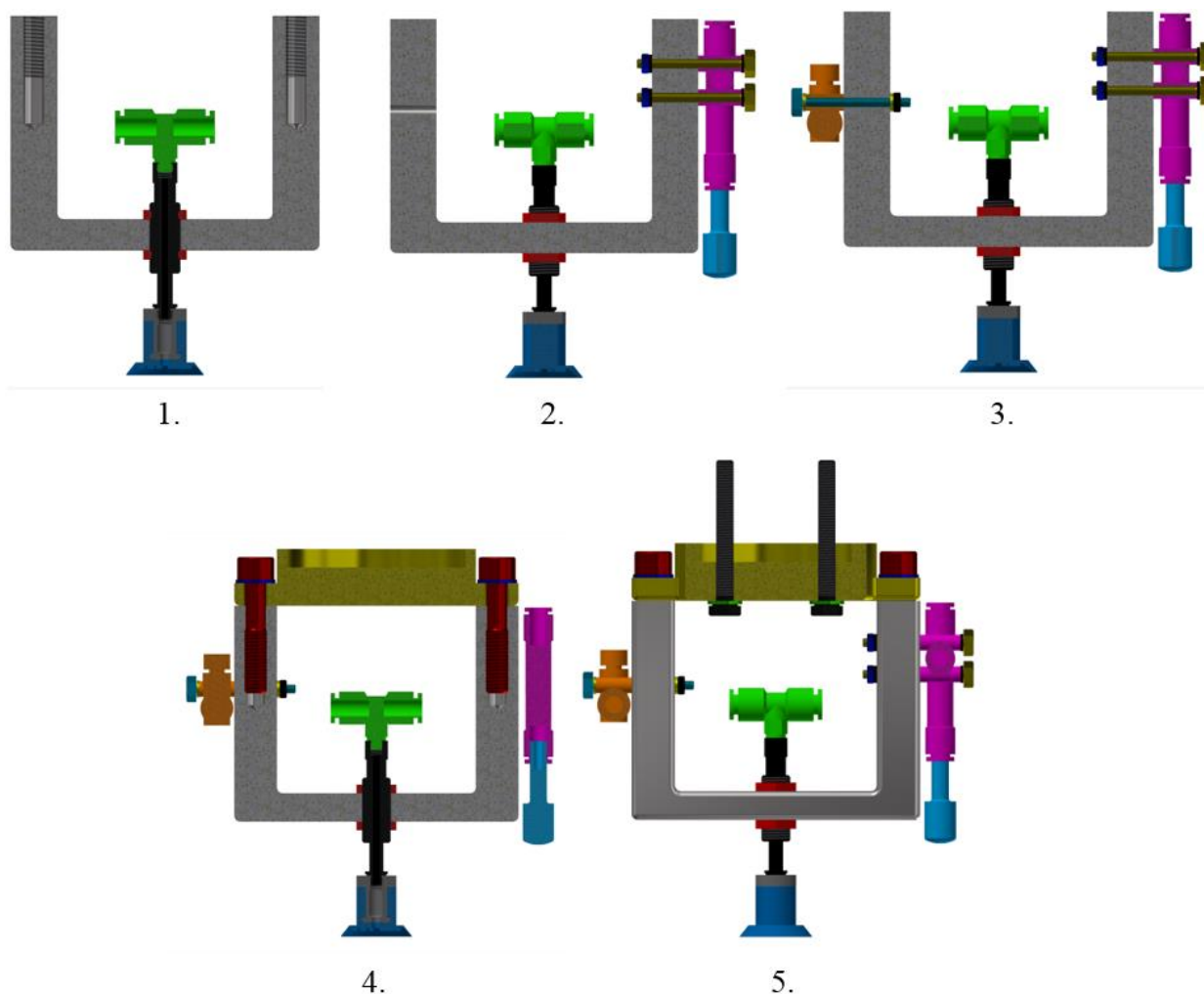


Obr. 55) Částečný řez plochou přísavkou s opěrnými žebry [54]

Montáž koncového efektoru

1. Montážní závit přísavky (černá součást) je pomocí matice (spodní červená součást) a kontramaticy (horní červená součást) zafixován ke kleci (šedá součást). Upnutí přísavky (modrá součást) je realizováno jejím zašroubováním do montážního závitu přísavky. T-spojka (zelená součást) je připevněna k přísavce zašroubováním jejího vnějšího montážního závitu do montážního závitu přísavky.

2. Tlumič hluku (světle modrá součást) je s podtlakovým ejektorem (růžová součást) spojen nasunutím hrdla tlumiče do nástrčné spojky ejektoru. Podtlakový ejektor je ke kleci (šedá součást) připevněn pomocí dvojice šroubů (žlutá součást), matic (modrá součást) a čtveřice podložek (černá součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech podtlakového ejektoru a klece.
3. Škrticí ventil (oranžová součást) je ke kleci (šedá součást) připevněn dvojicí šroubů (tyrkysová součást), matic (černá součást) a čtveřicí podložek (žlutá součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech škrticího ventilu a klece.
4. Spojení klece (šedá součást) a spojovací příruby (žlutá součást) je realizováno pomocí šroubového spojení (červená a modrá součást). Šrouby jsou zašroubovány do vyvrtaných vnitřních závitů klece.
5. Koncový efektor je spojen s přírubou robotu přes čtveřici montážních šroubů (černá součást) a podložek (zelená součást). Šrouby jsou vedeny v montážních otvorech spojovací příruby (žlutá součást).



Obr. 56) Montážní postup třetí konstrukční varianty

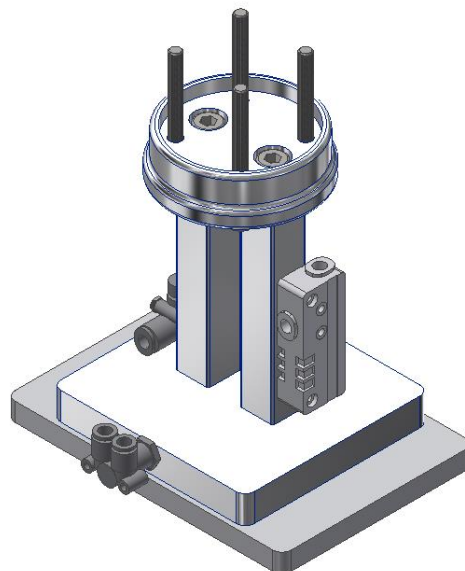
Shrnutí

Klecová konstrukce umožňuje dodatečnou úpravu koncového efektoru (například použití 3D kamery a filtru částic). Zvolená plochá přísavka má v této konstrukční variantě axiální přívod vakua. Přívod stlačeného vzduchu k uvolnění předmětu a přívod vakua

k uchopení předmětu je opět jako ve variantě 2 realizován pomocí t-spojky. Zvolený podtlakový ejektor je možno vybavit dodávaným tlumičem hluku. Uvolnění předmětu je regulováno manuálním nastavením škrticího ventilu prostřednictvím matice. Díky uvedeným vlastnostem je tato přísavka vhodná i pro manipulaci poddajných předmětů, u kterých nesmí dojít k jejich deformaci způsobené přísátím. Hmotnost koncového efektoru je přibližně 1,179 kilogramů.

8.3.4 Konstrukční varianta 4

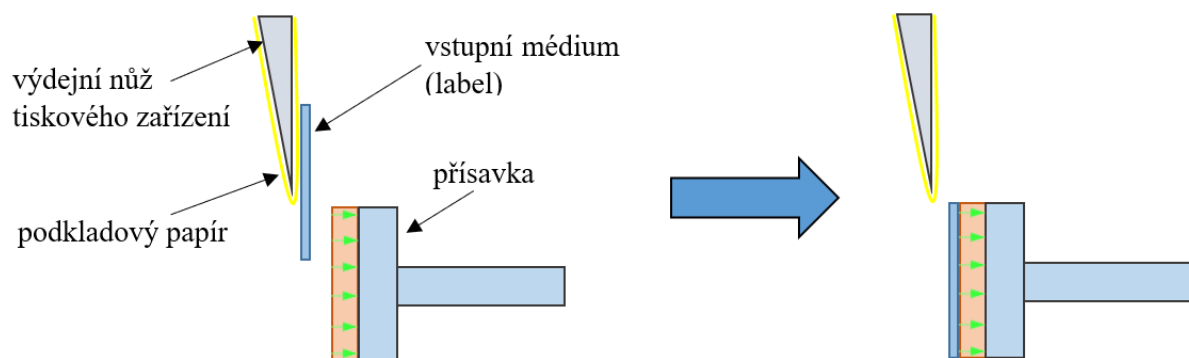
Tato varianta využívá k úchopu předmětu sací otvory na teflonové přísavce.



Obr. 57) Konstrukční varianta 4

Princip

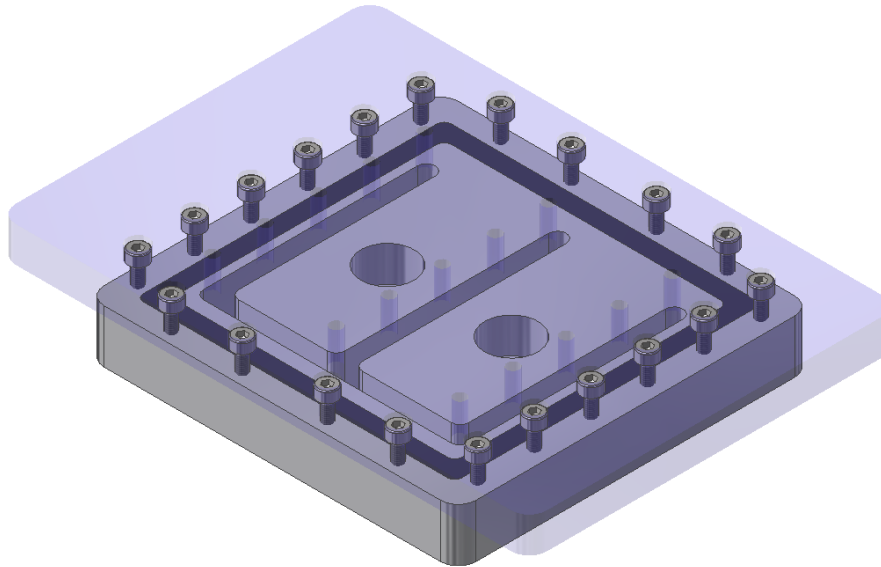
Princip úchopu spočívá v postupném nasávání předávaného předmětu pomocí sacích otvorů v teflonové části aktuátoru koncového efektoru. Zvolený materiál – teflon zaručuje dobré kluzné vlastnosti, a proto umožňuje i postupné přísátí předmětu při jeho předávání z výstupní hlavy tiskového zařízení.



Obr. 58) Princip uchopení předmětu

Podtlak vytvořený podtlakovým ejektorem je veden hadicí a poté v rozvodných kanálcích rozvodného segmentu. Spojením rozvodného segmentu a teflonové přísavky (pomocí šroubů) dojde ke stlačení těsnící gumy, což minimalizuje únik vytvořeného podtlaku podtlakovým ejektorem. V teflonové přísavce se nachází sací otvory, které jsou rozmístěny pod

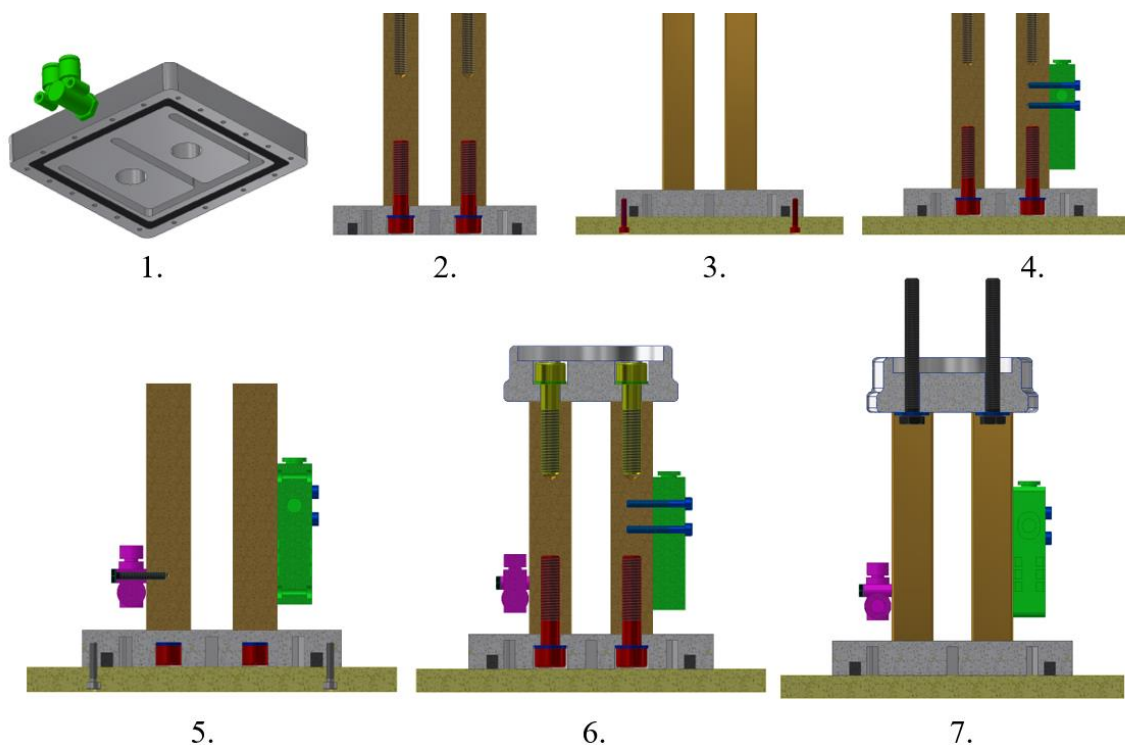
rozvodnými kanálky rozvodného segmentu. Sacími otvory se přichytí předmět. Plocha přísavky je navržena tak, aby dokázala pokrýt plochu největšího uvažovaného předmětu (nálepky). Sací otvory umožňují variabilní nastavení tak, aby se sací plocha přizpůsobila velikosti manipulovaného předmětu. Jelikož jsou sací otvory provedeny na rovinné ploše teflonové přísavky, dojde tímto způsobem k poměrně velké rovinné kontaktní ploše mezi předmětem a přísavkou, což výrazně snižuje následně vzniklé ohýbání uchopeného předmětu při jeho další manipulaci a zároveň zajišťuje jeho přesné umístění na primární nosič.



Obr. 59) Konstrukční návrh rozvodu podtlaku v aktuátoru

Montáž koncového efektoru

1. Těsnění je realizováno vložení těsnící gumy (černá součást) do vyfrézované usazovací drážky v rozvodném segmentu (šedá součást), která minimalizuje úniky vakua mezi plochami přísavky a rozvodného segmentu. Úhlová spojka (zelená součást) je přes vnější závit zašroubována do otvoru ve straně rozvodného segmentu.
2. Závitové spojky (hnědá součást) jsou zafixovány k rozvodnému segmentu (šedá součást) pomocí dvojice šroubů (červená součást) a podložek (tmavomodrá součást).
3. Přísavka z teflonu (žlutozelená součást dole) je k rozvodnému segmentu (šedá součást) přimontována pomocí 20 šroubů (červená součást). Jejich zašroubováním dojde ke stlačení vystupující těsnící gumy (černá součást), čímž dojde k minimalizaci ztrát vytvořeného vakua podtlakovým ejektorem.
4. Podtlakový ejektor (zelená součást) je ke spojce (hnědá součást) připevněn dvojicí šroubů (tmavomodrá součást).
5. Škrticí ventil (fialová součást) je ke spojce (hnědá součást) přimontován pomocí dvojice šroubů (černá součást).
6. Spojky (hnědá součást) jsou zafixovány k přírubě (stříbrná součást) pomocí dvojice šroubů (žlutá součást) a podložek (zelená součást).
7. Spojovací příruba (šedá součást) je s přírubou robotu spojena pomocí čtveřice šroubů (černá součást) a podložek (tmavomodrá součást).



Obr. 60) Montážní postup čtvrté konstrukční varianty

Shrnutí

Provedená konstrukce umožňuje dodatečnou úpravu koncového efektoru (například použití 3D kamery a filtru částic). Hladký pohyb odebíraného předmětu po teflonové přísavce je zajištěn jejími dobrými kluznými vlastnostmi. Přívod stlačeného vzduchu k uvolnění předmětu a přívod vakua k uchopení předmětu je realizován pomocí úhlové spojky. Zvolený podtlakový ejektor je v kompaktním provedení s integrovaným tlumičem hluku. Uvolnění předmětu je regulováno manuálním nastavením škrticího ventilu prostřednictvím regulační matice. Hmotnost koncového efektoru je přibližně 1,261 kilogramů.

8.3.5 Posuzované vlastnosti

- T1) Princip úchopu – v tomto parametru je zohledněn způsob uchopení předmětu a schopnost zvolené přísavky předmět udržet.
- T2) Deformace předmětu – parametr zohledňující deformaci předmětu vzniklou jeho uchopením (čím vyšší hodnocení tím je deformace menší).
- T3) Montáž – parametr určující obtížnost smontování jednotlivých komponent koncového efektoru (čím vyšší hodnocení tím je montáž snazší).
- T4) Modifikovatelnost – parametr zohledňující možnost dalších úprav koncového efektoru podle druhu aplikace.
- T5) Hmotnost – tento parametr nemá při rozhodování zásadní vliv, jelikož uvedené hmotnosti srovnávaných koncových efektorů jsou pod 3 kilogramy (čím vyšší hodnocení tím je hmotnost menší).

Tab 12) Tabulka hodnocení konstrukčních návrhů koncového efektoru – Část 1

n	VLASTNOST	VARIANTA 1				VANRIANTA 2				VARIANTA 3			
		OZNAČENÍ	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ
1	T1	2	0,9	50	1,8	4	0,9	25	3,6	4	0,9	25	3,6
2	T2	4	0,9	25	3,6	3	0,9	33,33	2,7	4	0,9	25	3,6
3	T3	3	0,7	33,33	2,1	4	0,7	25	2,8	4	0,7	25	2,8
4	T4	1	0,8	100	0,8	3	0,8	33,33	2,4	4	0,8	25	3,2
5	T5	5	0,5	20	2,5	4	0,5	25	2	3	0,5	33,33	1,5

Tab 13) Tabulka hodnocení konstrukčních návrhů koncového efektoru – Část 2

n	VLASTNOST	VARIANTA 4			
		OZNAČENÍ	t_j	g_n	p_τ
1	T1	5	0,9	20	4,5
2	T2	5	0,9	20	4,5
3	T3	3	0,7	33,33	2,1
4	T4	5	0,8	20	4
5	T5	3	0,5	33,33	1,5

Konečné technické hodnocení τ :

Tab 14) Tabulka konečného technického hodnocení τ pro jednotlivé konstrukční varianty

Varianta	τ
1	0,43
2	0,56
3	0,62
4	0,71

Jako nejvhodnější konstrukční varianta se na základě tohoto způsobu hodnocení jeví čtvrtá konstrukční varianta. Deformace uchopovaného předmětu jsou téměř minimální, protože kontaktní plocha uchopeného předmětu a přísavky je největší. Provedení sacích děr na velké ploše teflonové přísavky umožňuje univerzální použití koncového efektoru na odlišné rozměry štítků. Zvolená varianta umožňuje pozdější vybavení koncového efektoru o další pneumatické prvky a 3D kameru pro snímání uchopovaných předmětů. I přes největší hmotnost a delší montáž ze srovnávaných variant je zvolená varianta nejvhodnější, jelikož z funkčního hlediska je schopna plnit požadovaný úkol lépe.

9 VÝPOČTOVÁ ČÁST

9.1 Návrhové výpočty a volba komponent

9.1.1 Vstupní parametry a požadavky

Mezi vstupní parametry, na které je kladen důraz při volbě komponent do pneumatického obvodu a samotné konstrukce koncového efektoru, patří:

- Maximální a minimální rozměry manipulovaných vstupních médií – na základě těchto rozměrů se odvíjí zvolený průměr sacích otvorů. Průměr sacího otvoru by neměl být moc velký, aby nedocházelo k nasávání okolního vzduchu při manipulaci s médiem minimálních uvažovaných rozměrů, ale zároveň nesmí být nedostatečně malý, protože by pak přísavka nebyla schopna udržet manipulovaný předmět. Nejmenší vstupní médium má rozměry 35x55 milimetrů a největší vstupní médium má rozměry 88x100 milimetrů.
- Síla potřebná pro sejmutí vstupního média od podkladu – tato veličina byla po konzultaci s vedoucím této diplomové práce stanovena odhadem na 0,7 až 1 Newton, kde menší z obou hodnot připadá na nejmenší vstupní médium a větší na největší vstupní médium. Úchopná síla pro udržení vstupních médií je vzhledem k síle potřebné pro jejich sejmutí několikanásobně menší, a proto se uvažuje, že pokud bude vstupní médium úspěšně sejmuto, nebude k jeho následnému udržení přísavkou při další manipulaci potřeba vyvodit podtlakovým ejektorem takové úchopné síly. S touto úvahou jsou následující výpočty provedeny, a tak se zanedbává hmotnost vstupních médií a počítá se se silou potřebnou k jejich sejmutí, od této síly je odvozena i fiktivní hmotnost (viz dále).
- Doba k dosažení vakua – a tím i vyvinutí uchopovací síly, potřebné k sejmutí vstupního média z podkladu, by neměla přesáhnout 0,5 sekundy. Takže:

$$t_{max} = 0,5 \text{ s} \quad (7)$$

Kde: t_{max} – Maximální přípustná doba pro dosažení požadované hladiny vakua [s]

- Hmotnost celkové konstrukce koncového efektoru nesmí přesáhnout 3 kilogramy – tento parametr bude znovu ověřen po provedení konečného konstrukčního řešení a volbě jednotlivých komponent, které jsou součástí koncového efektoru.
- Dobrá cenová dostupnost jednotlivých komponent získaných nákupem či vlastní výrobou.
- Kompaktní rozměry konstrukce koncového efektoru.

9.1.2 Výpočet průměru sacích děr přísavky

Výpočet je proveden dle [54]:

Základní úvaha spočívá v tom, že průměr přísavky je nahrazen průměrem sacích otvorů v teflonové přísavce. Pro výpočet teoretického průměru přísavky platí:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * m * g * s * 1000}{\pi * p * n_p}} \quad (8)$$

- Kde: D_t – Teoretický průměr přísavky [mm]
 m – Hmotnost předmětu [kg]
 g – Tíhové zrychlení [$m*s^{-2}$]
 s – Koeficient bezpečnosti [-]
 p – Vakuum (velikost vytvořeného podtlaku) [kPa]
 n_p – Počet přísavek [-]

Jelikož je síla potřebná pro sejmutí vstupního média F zadaná v jednotkách Newtonů, je člen $m * g$ z rovnice (8) nahrazen členem F , protože dle druhého Newtonova zákona lze odvodit, že:

$$F = m_f * g \quad (9)$$

- Kde: F – Síla potřebná pro sejmutí vstupního média [N]
 m_f – Fiktivní hmotnost [kg]
 g – Tíhové zrychlení [$m*s^{-2}$]

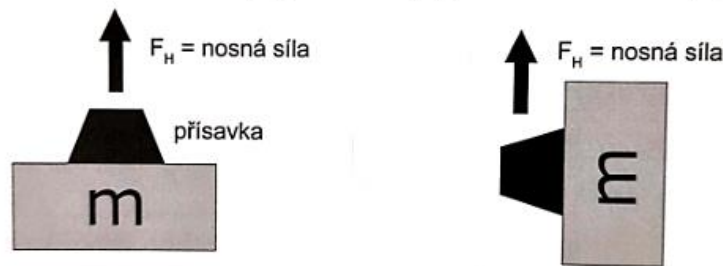
Pak dosazením levé strany rovnice z rovnice (9) za člen $m*g$ do rovnice (8), je možné následně spočítat teoretický průměr sacího otvoru v teflonové přísavce takto:

$$D_{tmax} = \sqrt{\frac{4 * F_{max} * s * 1000}{\pi * p * n_{max}}} = \sqrt{\frac{4 * 1 * 10 * 1000}{\pi * 80 * 9}} = 4,2 \text{ mm} \quad (10)$$

- Kde: D_{tmax} – Teoretický průměr sacího otvoru pro uchopení největšího uvažovaného předmětu [mm]
 F_{max} – Síla potřebná pro sejmutí největšího uvažovaného vstupního média [N]
 s – Koeficient bezpečnosti [-]
 p – Vakuum (velikost vytvořeného podtlaku) [kPa]
 n_{max} – Počet sacích otvorů pro uchopení největšího uvažovaného předmětu [-]

Bezpečnostní koeficient s je pro tuto situaci zvolen 10, protože je uvažováno, že k sejmutí vstupního média od podkladu dojde ve vertikální poloze a zároveň je ponechána rezerva. Současně je zřejmé, že největší úchopnou sílu (a tím i vytvořený podtlak) bude potřeba vyvinout v okamžiku odlepování, protože k odlepení vstupního média z podkladu je nutné překonat adhezní síly, které spojují vstupní médium s podkladem, z toho důvodu je potřebná síla zvolena 1 Newton. I přes neznámou následující trajektorii koncového efektoru po sejmutí média, by měl vyvinutý podtlak ejektorem stačit k udržení vstupního média i ve vertikální poloze, protože už nebude potřeba překonávat již zmíněné adhezní síly. Současně se uvažuje, že k uchopení největšího uvažovaného štítku dojde pomocí devíti sacích otvorů.

- | | |
|---|--|
| <p>a) vodorovný (horizontální) styk</p> <p>≥2 při svislém pohybu při zvedání</p> <p>≥4 při přidavném vodorovném pohybu</p> | <p>b) svislý (vertikální) styk</p> <p>≥4 při svislém pohybu při zvedání</p> <p>≥8 při přidavném vodorovném pohybu</p> |
|---|--|



Obr. 61) Určení součinitele bezpečnosti s [54]

Pro kontrolu je ještě proveden kontrolní přepočít, zda vyhovuje průměr sacích děr pro přisátí nejmenšího uvažovaného předmětu. Při uchopování nejmenšího uvažovaného předmětu je uvažováno, že k přisátí dojde čtyřmi sacími otvory. Kontrolní přepočít je proveden takto:

$$D_{tmin} = \sqrt{\frac{4 * F_{min} * s * 1000}{\pi * p * n_{min}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,7 * 10 * 1000}{\pi * 80 * 4}} = 5,3 \text{ mm} \quad (11)$$

- Kde: D_{tmin} – Teoretický průměr sacího otvoru pro uchopení nejmenšího uvažovaného předmětu [mm]
- F_{min} – Síla potřebná pro sejmutí nejmenšího uvažovaného vstupního média [N]
- s – Koeficient bezpečnosti [-]
- p – Vakuum (velikost vytvořeného podtlaku) [kPa]
- n_{min} – Počet sacích otvorů pro uchopení nejmenšího uvažovaného předmětu [-]

Konečný průměr sacích děr bude ten, který je větší (protože větší průměr dokáže vyvinout větší sací sílu). Nejdříve je potřeba porovnat vypočítané sací průměry z (10) a (11):

$$D_{tmax} < D_{tmin} \quad (12)$$

$$4,2 \text{ mm} < 5,3 \text{ mm}$$

- Kde: D_{tmax} – Teoretický průměr sacího otvoru pro uchopení největšího uvažovaného předmětu [mm]
- D_{tmin} – Teoretický průměr sacího otvoru pro uchopení nejmenšího uvažovaného předmětu [mm]

Z porovnání plyne, že pro uchopení menšího z obou uvažovaných štítků je potřeba použít větší průměru, než u většího štítku, protože jak je již ve výpočtu (11) uvažováno, k uchopení menšího štítku dojde pouze pomocí čtyř sacích otvorů, kdežto u většího štítku pomocí devíti sacích otvorů. Konečný průměr sacího otvoru při provedení normalizovaného otvoru tedy je:

$$D = 5,5 \text{ mm} \quad (13)$$

- Kde: D – Průměr sacích otvorů v teflonové přísavce [mm]

9.1.3 Volba podtlakového ejektoru

Společnost SMC (od které je komponenta volena) vyrábí jednostupňové podtlakové ejektory, které jsou schopny vyvinout vakuum až o hodnotě 90 kPa pod atmosférickým tlakem. Protože s rostoucím vytvořeným vakuem podtlakového ejektoru roste objem spotřebovávaného vzduchu, je hodnota vakua pro předběžně vybraný podtlakový ejektor SMC ZH07BSA-06-06 zvolena 80 kPa [54]. Tato hodnota je uvažována již v rovnici (10) a (11) při počítání průměru sacích otvorů.



Obr. 62) Zvolený podtlakový ejektor SMC ZH07BSA-06-06 [55]

Provedení zvoleného podtlakového ejektoru je kompaktní a jeho hmotnost je 12,4 gramů. Do vstupu a výstupu se zasouvá hadice o vnějším průměru 6 milimetrů. Z provozních charakteristik zvoleného podtlakového ejektoru lze dále vyčíst, že na vyvinutí podtlaku o hodnotě 80 kPa pod hodnotu atmosférického tlaku je potřeba vstupní stlačený vzduch z kompresoru o hodnotě přibližně 0,3 MPa. Při takovém vstupu může ejektor přibližně nasát maximálně 15 litrů za minutu, zároveň se hodnota spotřebovaného vzduchu pohybuje okolo 19 litrů za minutu [55, 56]. Zjištěné hodnoty z provozních charakteristik zvoleného ejektoru pro vyvinutí podtlaku 80 kPa jsou:

$$p_{vs} \cong 0,3 \text{ MPa} \quad (14)$$

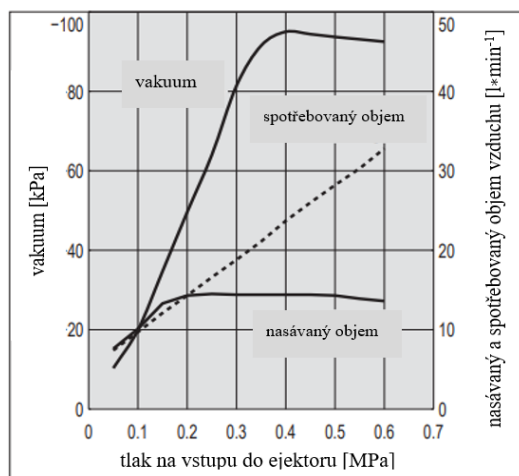
Kde: p_{vs} – Tlak na vstupu do podtlakového ejektoru [MPa]

$$Q_{E_{max}} \cong 15 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (15)$$

Kde: $Q_{E_{max}}$ – Maximální nasávaný objem vzduchu ejektoru při provozním vstupním tlaku [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

$$Q_{Es} \cong 19 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (16)$$

Kde: Q_{Es} – Spotřebovaný objem vzduchu zvoleného ejektoru [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]



Obr. 63) Provozní charakteristiky zvoleného podtlakového ejektoru [56]

Poznámka: Hodnota vakua je udávána se znaménkem mínus, protože se jedná o hodnotu tlaku vytvořeného pod hodnotou atmosférického tlaku. Hodnoty nasávaného a spotřebovaného objemu vzduchu jsou udávány u následujících výpočtů v litrech za minutu [54].

Kontrolní přepočet

Výpočet je proveden podle [58]:

- 1) Určení objemu V vedení mezi sacími otvory a zdrojem vakua (ejektorem)

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{\pi * d^2 * L_1}{4 * 1000} + (a * b) * L_2 + n_s * \left(\frac{\pi * d_1^2}{4} * h_1 + \frac{\pi * d_2^2}{4} * h_2 \right) = \quad (17)$$

$$= \frac{4^2 * \pi * 0,2}{4 * 1000} + (0,04 * 0,04) * (0,67 * 3 + 0,35 * 4) + 21 * \left(\frac{\pi * 0,055^2}{4} * \right.$$

$$\left. * 0,04 + \frac{\pi * 0,035^2}{4} * 0,06 \right) = 0,011 \text{ dm}^3$$

- Kde: V – Celkový objem vedení [dm^3]
 V_1 – Objem vedení hadice [dm^3]
 V_2 – Objem rozvodných kanálků [dm^3]
 V_3 – Objem sacích otvorů v teflonové přísavce [dm^3]
 d – Vnitřní průměr hadice [mm]
 L_1 – Délka vedení hadice [m]
 a – První rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]
 b – Druhý rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]
 L_2 – Délka rozvodných kanálků [dm]
 n_s – Počet sacích otvorů v teflonové přísavce [-]
 d_1 – Průměr sacího otvoru v přísavce [dm]
 h_1 – Hloubka sacího otvoru – první část [dm]
 d_2 – Přibližný průměr závitové díry v přísavce [dm]
 h_2 – Hloubka sacího otvoru – druhá část (hloubka závitové díry) [dm]

- 2) Výpočet potřebného nasávaného objemu vzduchu ejektorem pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení

$$Q_P = \frac{V * 60}{t_{max}} + Q_L = \frac{0,011 * 60}{0,5} + 0,1 = 1,42 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (18)$$

- Kde: Q_P – Potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]
 V – Celkový objem vedení [dm^3]
 t – Maximální přípustná doba pro dosažení požadované hladiny vakua [s]
 Q_L – Ztráty při přisátí předmětu [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

Manipulovaný předmět neobsahuje na své ploše žádné otvory, kterými by mohlo dojít k nasávání okolního vzduchu během jeho manipulace, ovšem pro rezervu jsou uvažovány ztráty Q_L , které jsou rovny $0,1 \text{ l} * \text{min}^{-1}$.

- 3) Výpočet maximálního potřebného nasávaného objemu vzduchu ejektorem pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení

$$Q_{Pmax} = (2 \div 3) * Q_P = (2 \div 3) * 0,78 = 2,84 \div 4,26 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (19)$$

Kde: Q_{Pmax} – Maximální potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

Q_P – Potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

- 4) Porovnání maximálního možného nasávaného objemu ejektoru s maximálním potřebným nasávaným objemem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení

$$Q_{Emax} > Q_{Pmax} \quad (20)$$

$$15 \text{ l} * \text{min}^{-1} > 4,26 \text{ l} * \text{min}^{-1}$$

Kde: Q_{Emax} – Maximální nasávaný objem vzduchu ejektorem při provozním vstupním tlaku [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

Q_{Pmax} – Maximální potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

Z kontrolního výpočtu vyplývá, že zvolený podtlakový ejektor vyhovuje, jelikož z grafu na obrázku 63 je maximální nasávaný objem vzduchu zvoleného podtlakového ejektoru při zvolených provozních podmínkách (vstupní tlak stlačeného vzduchu o hodnotě 0,3 MPa) větší než vypočítaný maximální nasávaný objem potřebný pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení mezi ejektorem a přísavkou.

9.1.4 Výpočet času pro dosažení požadované hladiny vakua

Výpočet je proveden dle [54]:

- 1) Výpočet průměrného nasávaného objemu Q_1 zdrojem vakua

$$Q_1 = \frac{1}{2} * Q_{Emax} = \frac{1}{2} * 15 = 7,5 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (21)$$

Kde: Q_1 – Průměrný nasávaný objem ejektoru [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

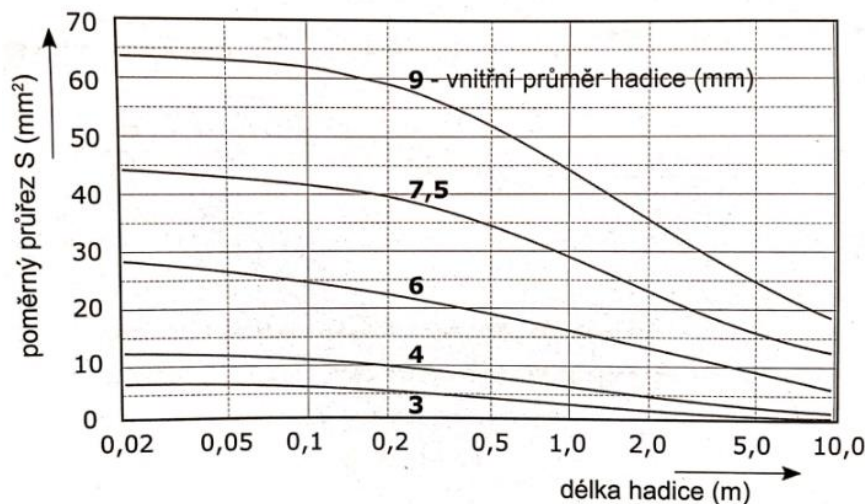
Q_{Emax} – Maximální nasávaný objem vzduchu ejektorem při provozním vstupním tlaku [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

$\frac{1}{2}$ – Opravný koeficient pro přísavky, resp. sací otvory [-]

Poznámka: Hodnota Q_{Emax} byla zjištěna odečtením z grafu na obrázku 63.

- 2) Určení poměrného průřezu S vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua

Pro určení poměrného průřezu S vedení se používá následující diagram:



Obr. 64) Závislost poměrného průřezu S na délce hadic [54]

Pro rezervu je uvažována hadice s vnitřním průměrem 4 milimetry o délce 0,2 metrů mezi vstupní nástrčnou spojkou do rozvodného segmentu a ejektorem (zahrnuto již v (17)). Dále střednice rozvodných kanálků má podle (17) přibližně délku 0,341 metrů o ekvivalentním vnitřním průměru přibližně 5 milimetrů. Přepočítání obdélníkového průřezu rozvodných kanálků na kruhový vychází z úvahy rovnosti obou ploch uvažovaných průřezů (průřezy otvorů v přísavce jsou zanedbány) je proveden takto:

$$S_{ekv} = S_2 \quad (22)$$

$$\frac{\pi * D_{ekv}^2}{4} = a * b$$

- Kde: S_{ekv} – Ekvivalentní plocha uvažovaného kruhového průřezu [mm^2]
 S_2 – Plocha obdélníkového průřezu rozvodných kanálků [mm^2]
 D_{ekv} – Ekvivalentní průměr rozvodných kanálků [mm]
 a – První rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]
 b – Druhý rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]

Vyjádřením ekvivalentního průměru z (22) a převodem jednotek na milimetry, je ekvivalentní průměr roven:

$$D_{ekv} = \sqrt{\frac{4 * (a * b) * 10000}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * (0,04 * 0,04) * 10000}{\pi}} = 4,5 \doteq 5 \text{ mm} \quad (23)$$

- Kde: D_{ekv} – Ekvivalentní průměr rozvodných kanálků [mm]
 a – První rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]
 b – Druhý rozměr obdélníkového průřezu kanálku [dm]

Pak pro přibližný vnitřní průměr hadice 5 milimetrů o délce 0,541 metrů odpovídá poměrný průřez hodnotě 14 mm^2 , takže:

$$S = 14 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

- Kde: S – Poměrný průřez vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua [mm^2]

3) Stanovení maximálního průtočného objemu Q_2 vedení

Po dosazení z (24) lze vypočítat:

$$Q_2 = S * 54,44 = 14 * 54,44 = 762,2 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (25)$$

- Kde: Q_2 – Maximální průtočný objem vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]
 S – Poměrný průřez vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua [mm^2]
54,44 – Koeficient převodu z poměrného průřezu v mm^2 na $\text{l} * \text{min}^{-1}$

4) Získání skutečného průtočného objemu Q

Pro následující krok bude potřeba použít menší z obou vypočtených průtočných objemů, protože menší hodnota odpovídá skutečnému průtočnému objemu, resp. nasávanému objemu, který určuje čas pro dosažení potřebné hladiny vakua.

Z rovnic (21) a (25) vyplývá ze spočítaných veličin, že:

$$Q_1 < Q_2 \quad (26)$$

$$7,5 \text{ l} * \text{min}^{-1} < 762,2 \text{ l} * \text{min}^{-1}$$

- Kde: Q_1 – Průměrný nasávaný objem ejektoru [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]
 Q_2 – Maximálního průtočný objem vedení [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

A proto je skutečný průtočný objem Q :

$$Q = Q_1 = 7,5 \text{ l} * \text{min}^{-1} \quad (27)$$

- Kde: Q – Skutečný průtočný objem [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]
 Q_1 – Průměrný nasávaný objem ejektoru [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

5) Určení objemu V vedení mezi sacími otvory a zdrojem vakua

Viz rovnice (17).

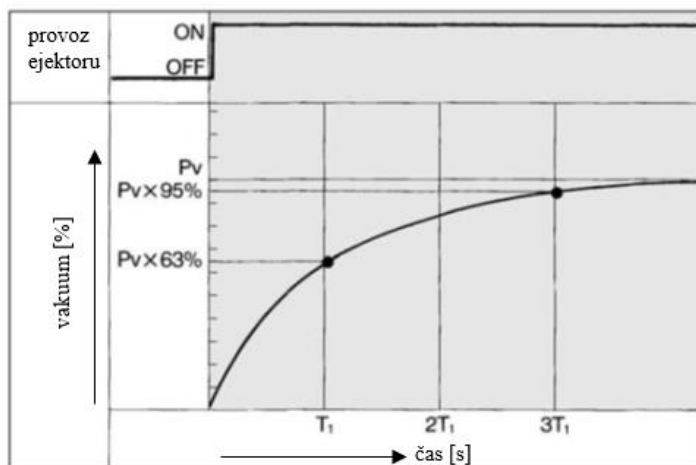
6) Určení času t_1 a t_2 pro dosažení vakua

Čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua p z rovnice (10) je:

$$t_1 = \frac{V * 60}{Q} = \frac{0,011 * 60}{7,5} = 0,09 \text{ s} \quad (28)$$

- Kde: t_1 – Čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua [s]
 V – Celkový objem vedení [dm^3]
 Q – Skutečný průtočný objem [$\text{l} * \text{min}^{-1}$]

Za čas 0,11 s bude dosaženo mezi ejektorem a přísavkou 63 % maximálního vakua, čemuž odpovídá -50,4 kPa. Z grafu na obrázku 65 vyplývá, že dosažení 95 % z maximálního dosažitelného vakua nastává přibližně za třikrát delší čas, než je čas t_1 .



Obr. 65) Hladina vakua v závislosti na čase od zapnutí ejektoru [54]

Takže po dosazení z (28) lze psát:

$$t_2 \approx 3 * t_1 = 3 * 0,09 = 0,27 \text{ s} \quad (29)$$

Kde: t_1 – Čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua [s]

t_2 – Čas potřebný pro dosažení přibližně 95 % maximálního dosažitelného vakua [s]

Za čas 0,33 s bude přibližně dosaženo mezi ejektorem a přísavkou 95 % maximálního vakua, čemuž odpovídá -76 kPa. Přibližně za 4,5násobek času t_1 bude dosažena maximální hodnota (tedy nastavená hodnota vakua -80 kPa). Takže po dosazení z (28) lze psát:

$$t_3 \approx 4,5 * t_1 = 4,5 * 0,11 = 0,41 \text{ s} \quad (30)$$

Kde: t_1 – Čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua [s]

t_3 – Přibližný čas potřebný pro dosažení maximální hodnoty vakua [s]

Porovnáním (7) a (30) lze zjistit, že zvolený ejektor vyhovuje z hlediska doby potřebné pro vyvinutí požadované hladiny vakua, protože platí:

$$t_3 \leq t_{max} \quad (31)$$

$$0,41 \text{ s} \leq 0,5 \text{ s}$$

Kde: t_3 – Přibližný čas potřebný pro dosažení maximální hodnoty vakua [s]

t_{max} – Maximální přípustná doba pro dosažení požadované hladiny vakua [s]

9.1.5 Volba elektromagnetických ventilů

Do pneumatického obvodu budou vybrány dva totožné přímo ovládané elektromagnetické ventily. Podle [58] musí být pro správné fungování ventilu hodnota konduktance elektromagnetického ventilu větší než konduktance podtlakového ejektoru. Konduktance zvoleného podtlakového ejektoru je při uvažování větší z hodnot získaných v (19) a po jejím dosazení z (19):

$$C_e = \frac{Q_{Pmax}}{55,5} = \frac{4,26}{55,5} = 0,077 \text{ dm}^3 * \text{s}^{-1} * \text{bar}^{-1} \quad (32)$$

Kde: C_e – Konduktance zvoleného podtlakového ejektoru [$\text{dm}^3 * \text{s}^{-1} * \text{bar}^{-1}$]

Q_{Pmax} – Maximální potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení [$l \cdot \text{min}^{-1}$]

Na základě hodnoty zjištěné z rovnice (32) je zvolen elektromagnetický ventil SMC VX214CG s průměrem trysky 3 milimetry, jehož hodnota konduktance podle katalogu [59] je:

$$C_v = 1,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1} \quad (33)$$

Kde: C_v – Konduktance zvoleného elektromagnetického ventilu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$]

Porovnáním získaných hodnot z (32) a (33) lze zjistit, že zvolený elektromagnetický ventil vyhovuje, protože platí:

$$C_e < C_v \quad (34)$$

$$0,077 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1} < 1,05 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$$

Kde: C_e – Konduktance zvoleného podtlakového ejektoru [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$]

C_v – Konduktance zvoleného elektromagnetického ventilu [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$]

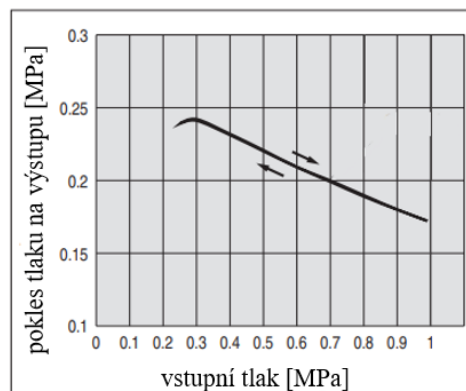
Zvolený podtlakový ejektor je schopen spolehlivě pracovat v rozmezí tlaků od 0 Pa do 0,6 MPa, jelikož bude od kompresoru dodáván upravený stlačený vzduch o hodnotě 0,3 MPa, bude zvolený elektromagnetický ventil použit do větve s podtlakovým ejektorem i škrticím ventilem. Zvolený elektromagnetický ventil má hmotnost 300 gramů. Pokles tlaku je $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ s rozdílem 0,1 MPa okolního vzduchu (celkem přibližně $3 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), což je vzhledem k provozním podmínkám zanedbáno [59].



Obr. 66) Zvolený elektromagnetický ventil SMC VX214CG [59]

9.1.6 Volba jednotky úpravy stlačeného vzduchu

Před volbou kompresoru je potřeba zjistit na jaký teoretický výstupní tlak je nutné kompresor nastavit, protože průchodem stlačeného vzduchu přes jednotku úpravy stlačeného vzduchu do obvodu dál dojde k poklesu tlaku upraveného stlačeného vzduchu. Do pneumatického obvodu je zvolena jednotka úpravy stlačeného vzduchu SMC AC20C-A, jejíž provozní charakteristiky při nasávaném objemu vzduchu $20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou [60]:



Obr. 67) Provozní charakteristiky zvolené jednotky úpravy stlačeného vzduchu [60]

Z grafu na obrázku 67 lze odvodit, že pokud má být na vstupu podtlakového ejektoru stlačený vzduch o tlaku 0,3 MPa, tak je potřeba nastavit přibližně hodnotu výstupního tlaku z kompresoru alespoň na 0,54 MPa. Při vstupním tlaku 0,54 MPa do jednotky stlačeného vzduchu dojde k poklesu tlaku na výstupu přibližně o hodnotu 0,24 MPa. Pro vyrovnání tlakových nerovností a udržení stálého tlaku (o hodnotě 0,3 MPa) dále do obvodu je použit regulátor tlaku, který je součástí zvolené jednotky úpravy vzduchu, takže hodnotu výstupního tlaku z kompresoru lze dodatečně zvýšit v závislosti na skutečných provozních podmínkách.

Maximální možný nasávaný objem stlačeného vzduchu (který je jednotka úpravy stlačeného vzduchu schopna spolehlivě očistit) je pro zvolený model 200 litrů za minutu [60].



Obr. 68) Zvolená jednotka úpravy stlačeného vzduchu SMC AC20C-A [60]

9.1.7 Volba kompresoru

Jelikož nesmí dojít u manipulovaného předmětu, a tedy i jednotlivých komponent pneumatického obvodu ke styku s olejem (od mazání jednotlivých komponent kompresoru), musí být zvolen takový kompresor, který k mazání komponent používá samomazných vlastností použitých kluzných materiálů – bezolejový kompresor. Současně je potřeba zvolit kompresor, který je schopen dodat minimálně 25 litrů stlačeného vzduchu za minutu (průtok 20 litrů za minutu stlačeného vzduchu byl stanoven pro jednotku úpravy stlačeného vzduchu a 5 litrů za minutu je ponecháno jako rezerva). Dále musí být schopen dodávat stlačený vzduch minimálně o hodnotě 0,65 MPa.

V závislosti na uvedených požadavcích je zvolen průmyslový bezolejový pístový kompresor LZ 7/10 (společnosti Atlas Copco), který umožňuje plynulý nepřerušovaný chod, je schopen dodávat stlačený vzduch až o hodnotě 1 MPa, a maximální možný dodávaný objem vzduchu je 660 litrů za minutu. Životnost udávaná výrobcem tohoto kompresoru je 16000 hodin. Těmito parametry vhodně odpovídá již zmíněným požadovaným vlastnostem [61].

Další možnou variantou je zvolit bezolejový šroubový kompresor, avšak kompresory tohoto typu jsou oproti zvolené variantě cenově velmi nákladné, disponují velkými rozměry, hůře se s nimi manipuluje, a slouží především jako zdroj stlačeného vzduchu do větších průmyslových podniků, které disponují několika pracovními linkami či stanicemi. Ve zkratce, používají se všude tam, kde je potřeba dosahovat velkých dodávaných výkonů. Ovšem pro realizaci zadané problematiky (nehledě na okolní podmínky, které nejsou definovány) postačí zvolené pístové provedení bezolejového kompresoru [61, 62].



Obr. 69) Zvolený bezolejový pístový kompresor LZ7/10 [61]

Skříňové provedení kompresoru je výrobcem navrženo tak, aby současně sloužilo jako tlumič hluku, což eliminuje jednu z hlavních nevýhod pístových kompresorů, kterou je hlučnost [61, 62].

9.1.8 Volba škrticího ventilu

Škrticí ventil je potřeba zvolit v čistém provedení, tzn. bez jakéhokoliv mazání. Na základě tohoto je zvolen škrticí ventil SMC AS1002F-06A. Hmotnost škrticího ventilu je 5 gramů. Do vstupu a výstupu se zasouvá hadice o vnějším průměru 6 milimetrů. Uvažuje se, že vhodné nastavení pro uvolnění (odfouknutí) předmětu se provede až fyzicky na předmětu, pomocí regulační matice škrticího ventilu [57].

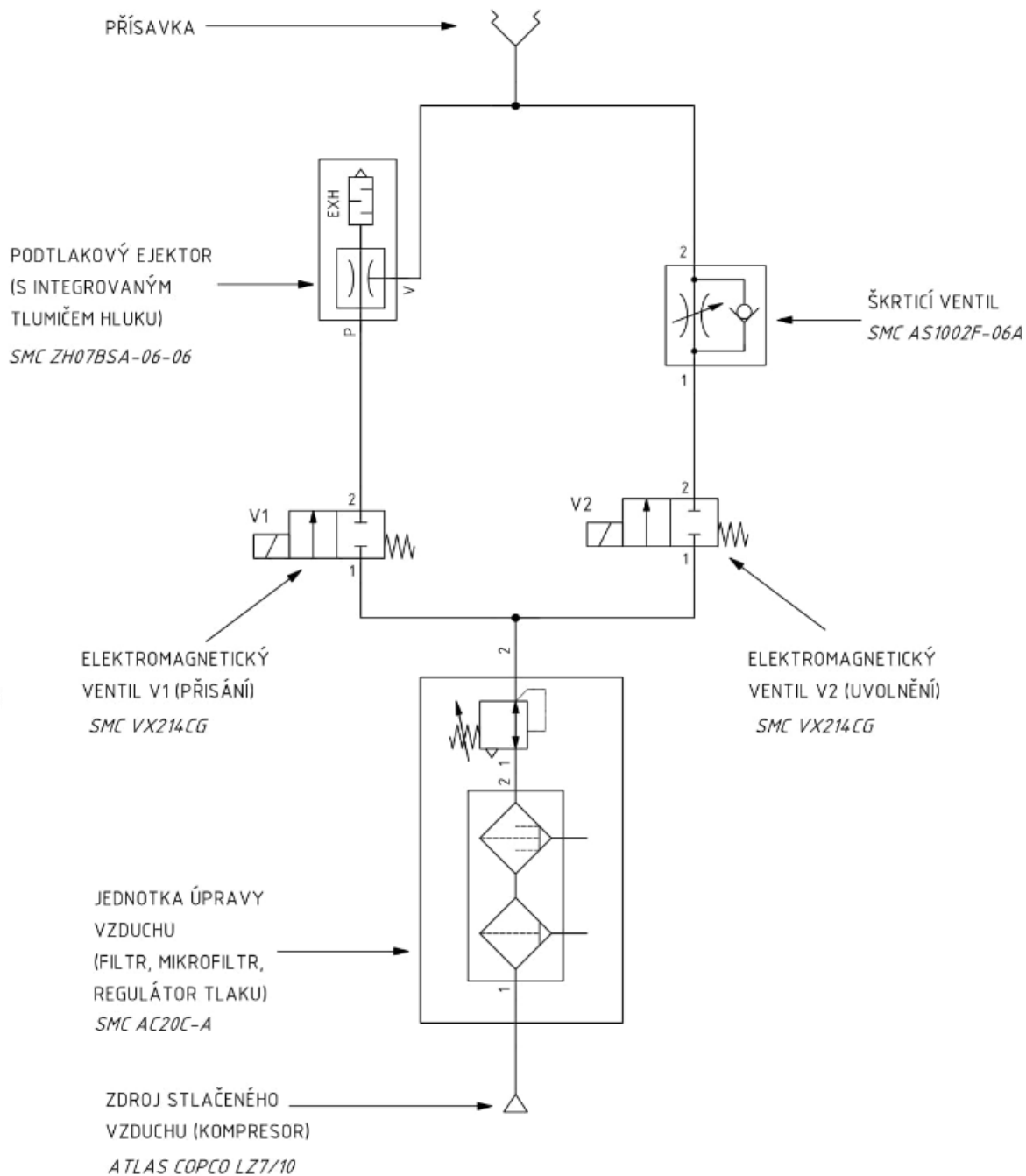


Obr. 70) Zvolený škrticí ventil SMC AS1002F-06A [57]

9.2 Pneumatický obvod

Pneumatický obvod se skládá z komponent, které se nachází jak na konstrukci koncového efektoru, tak i mimo ni. Volba jednotlivých komponent je podložena provedenými teoretickými kontrolními výpočty a úvahami v předchozí kapitole, a proto se předpokládá jejich bezproblémový chod při vykonávání funkce koncového efektoru. Jednotlivé komponenty pneumatického obvodu jsou pomocí programu PneuDraw od společnosti SMC zakresleny do schématu pneumatického obvodu. Pneumatický obvod se skládá ze zdroje stlačeného vzduchu, jednotky úpravy stlačeného vzduchu, dvou přímo řízených pneumatických ventilů, podtlakového ejektoru s integrovaným tlumičem hluku, škrticího ventilu a přísavky.

Výkres navrženého pneumatického obvodu je v příloze B PNEUMATICKÝ OBVOD NÁVRH.



Obr. 71) Schéma navrženého pneumatického obvodu

Kompresor dodává na výstupu (dál do obvodu) stlačený vzduch o hodnotě 0,6 MPa. Stlačený vzduch je nicméně nasátý z okolí a může v sobě obsahovat nepřipustné množství vměstků, proto je za kompresorem umístěn filtr a mikrofiltr částic. Takto dojde ke dvoustupňovému očištění stlačeného vzduchu od mechanických vměstků. První stupeň (filtr) vyčistí vzduch od větších vměstků a ve druhém stupni vyčistí mikrofiltr již jednou upravený vzduch od menších vměstků a kapiček obsažených ve stlačeném vzduchu, které prošly přes první stupeň čištění. Toto provedení bylo zvoleno z toho důvodu, že vstupní médium, které bude přisáto, nesmí po jeho následné manipulaci obsahovat žádné nečistoty. Pro případ, že by docházelo ke kondenzaci stlačeného vzduchu v pneumatickém obvodu, se doporučuje použít sušičku stlačeného vzduchu, která se umísťuje za výstupem kompresoru. Pro tuto problematiku

však bude uvažována situace, kdy bude zvolená jednotka úpravy stlačeného vzduchu stačit (nebude tedy docházet ke kondenzaci), a proto nebude v pneumatickém obvodu zařazena sušička stlačeného vzduchu.

Průchodem stlačeného vzduchu přes jednotky očištění stlačeného vzduchu ovšem dochází k poklesu tlaku. Z tohoto důvodu je za mikrofiltrem připojen ještě regulátor tlaku. Regulátor tlaku zde plní dvě funkce, zajištění proudění stlačeného vzduchu do obvodu s požadovanou hodnotou – 0,3 MPa a vyrovnávání tlakových rozdílů stlačeného vzduchu dodaného z kompresoru, který následně prochází očištěním přes filtr a mikrofiltr. Nevyrovnávání tlakových rozdílů by vedlo k následné nesprávné funkci podtlakového ejektoru, který by vytvářel nestálou hodnotu podtlaku, a tím by docházelo k vyvinutí nestálé uchopovací síly přísavky na uchopovaný předmět. Filtr, mikrofiltr a regulátor tlaku lze dostat v jedné modulární jednotce, která byla zároveň zvolena do tohoto pneumatického obvodu. Souhrnně se filtr, mikrofiltr a regulátor tlaku nazývá jednotka úpravy stlačeného vzduchu.

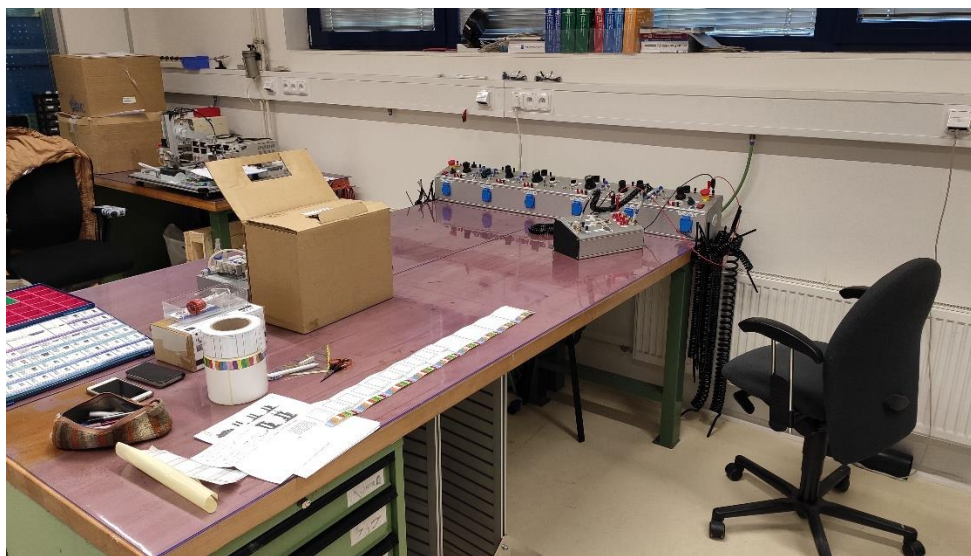
V obvodu se dále nachází dva přímo řízené elektromagnetické ventily. Tyto ventily jsou totožné a jedná se o 2/2 ventily (dvoupolohové a dvoucestné), které jsou v normální poloze uzavřené. Přivedením napětí na ovládací cívku jednoho z ventilů se ventil otevře a umožní proudění stlačeného vzduchu dále do obvodu. Naopak pro jeho následné uzavření stačí přivod napětí na ovládací cívku ventilu zamezit a ventil se na druhé straně mechanickou pružinou vrátí do výchozí polohy – uzavřeno. Ventil V1 slouží pro uchopení (přísání) vstupního média. Jakmile bude potřeba uchopený předmět uvolnit, přestane se na ovládací cívku ventilu V1 přivádět napětí, tímto se přestane vytvářet vakuum mezi podtlakovým ejektorem a přísavkou. Aby uvolnění předmětu netrvalo dlouho, tak se na ventil V2 přivede napětí, tím dojde k průchodu stlačeného vzduchu přes tento ventil V2 dále do škrticího ventilu a následně do přísavky, která uchopený předmět nuceně uvolní „odfukem“. Jelikož uvolnění netrvá dlouho, stačí přivést na ovládací cívku uvolňovacího ventilu V2 pulzní napětí, poloha šoupátka ventilu je pak vrácena vratnou pružinou do výchozí polohy – uzavřeno. Vhodný odfuk předmětu lze přímo nastavit regulační maticí na škrticím ventilu. Škrticí ventil zároveň umožňuje umístění štítku na nosič bezkontaktně „odfukem“.

Do pneumatických obvodů se obvykle umísťuje ještě mezi přísavku a podtlakový ejektor senzor přítomnosti vakua – vakuometr, který snímá, zda je přítomno vakuum o požadované hodnotě tlaku. V těchto a podobných aplikacích je vhodné umístit přísavku a podtlakový ejektor co nejbližší k sobě, aby nedošlo k nepřípustnému poklesu vytvořeného vakua mezi těmito dvěma členy (pokles roste s délkou hadice použitou pro spojení ejektoru a přísavky). Rovněž se za podtlakový ejektor umísťuje vakuový filtr částic, který slouží jako prevence ucpaní trysky podtlakového ejektoru (směrem od přísavky) nečistotami z okolního vzduchu. Po konzultaci není pro tuto aplikaci tento zmíněný filtr částic nutný, protože se nepředpokládá, že by vstupní médium (label) bylo jakkoliv znečištěno.

10 VERIFIKACE VÝPOČTŮ

10.1 Popis zkušebního pracoviště

Ověření parametrů a komponent získaných předchozími výpočty (průměry sacích otvorů, podtlakový ejektor, vstupní tlak na ejektoru a další) bude provedeno v dílnách společnosti SMC.



Obr. 72) Zkušebna společnosti SMC

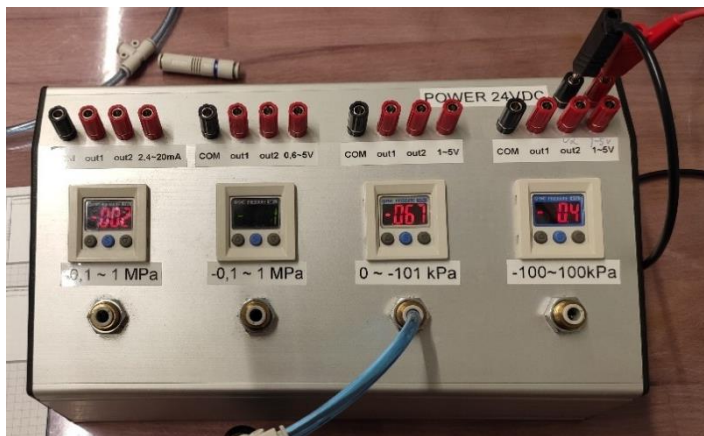
Protože v době provádění zkoušek není k dispozici fyzický návrh teflonové přísavky se sacími otvory, tak bude provedena náhrada. Náhrada spočívá v použití přísavek s přibližně odpovídajícím průměrem spočítaných průměrů sacích otvorů.

Ve zkušebně společnosti SMC je možné odzkoušet řadu komponent a parametrů. Zkušebna je vybavena zkušebními boxy. První představený zkušební box umožňuje změřit objemový průtok dodávaný do podtlakového ejektoru, jehož velikost lze regulovat škrticím ventilem.



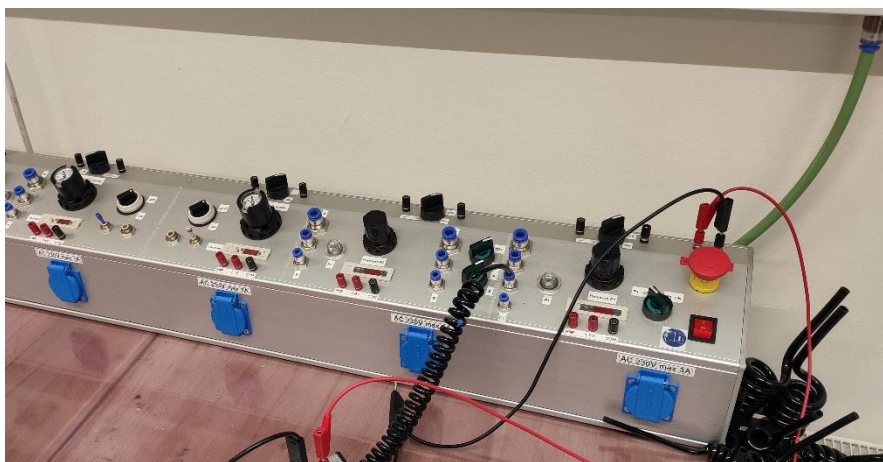
Obr. 73) Zkušební box měřící objemový průtok na vstupu podtlakového ejektoru

Druhý představený box slouží k měření hladiny vakua vytvořeného podtlakovým ejektorem. Za účelem ověření, zda zjištěná velikost podtlaku vytvořené zvoleným podtlakovým ejektorem vyhovuje, je tento zkušební box využit při provádění samotných zkoušek.



Obr. 74) Zkušební box měřící podtlak vytvořený vakuovým ejektorem

Velikost vstupního tlaku na podtlakovém ejektoru je regulována na zařízení, které je opatřeno několika lokálními regulačními ventily. Jednotlivé regulační ventily slouží pro úpravu hodnoty tlaku stlačeného vzduchu pro provádění několika odlišných experimentů zároveň. Na zařízení je možné sledovat pomocí digitálního ukazatele aktuální hodnotu stlačeného vzduchu, který je dodáván do podtlakového ejektoru.



Obr. 75) Zařízení s lokálními regulačními ventily použité pro regulaci vstupního tlaku na podtlakovém ejektoru

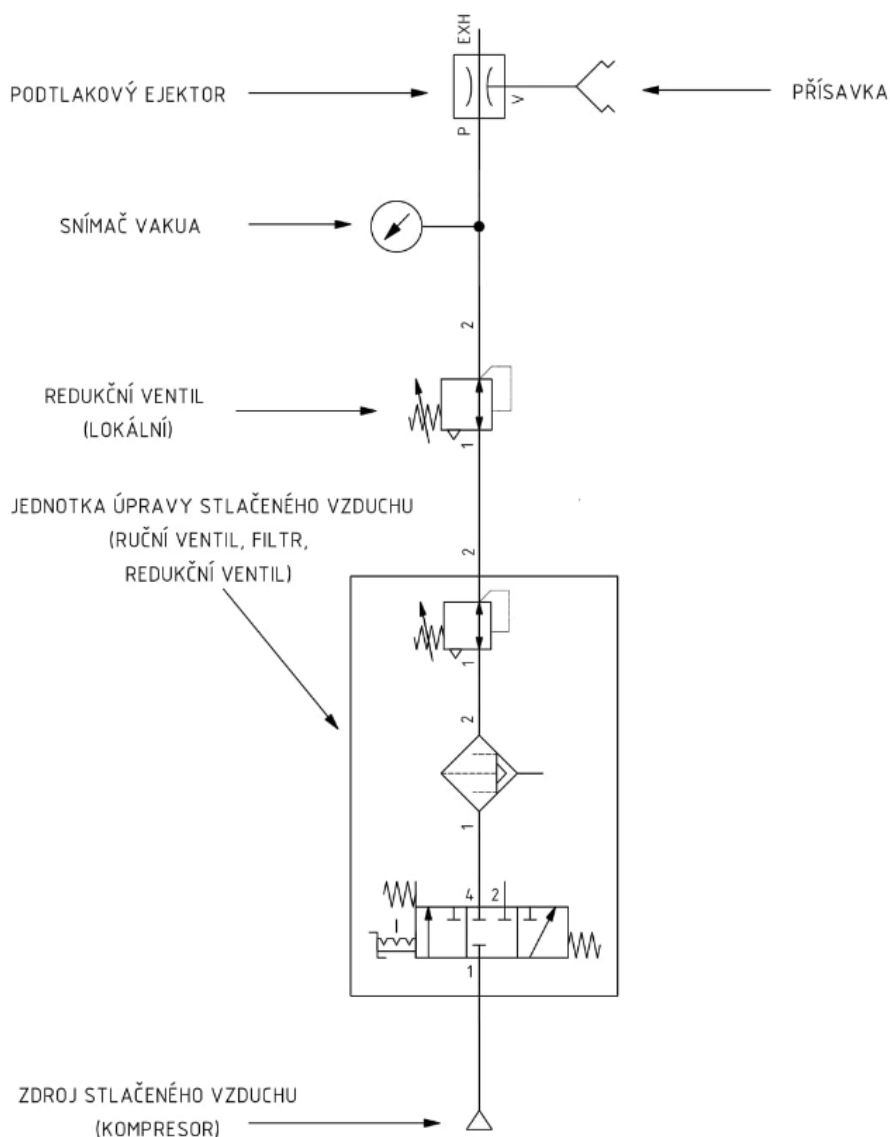
Před zmíněným zařízením s lokálními regulačními ventily je ještě umístěna jednotka úpravy vzduchu, která očišťuje stlačený vzduch dodávaný kompresorem umístěným v kompresorovně. Jednotka úpravy stlačeného vzduchu se skládá z ručního ventilu (rozvod stlačeného vzduchu dál do filtru nebo do ofukovací pistole), filtru a regulačního ventilu.



Obr. 76) Jednotka úpravy stlačeného vzduchu ve zkušebně

10.2 Náhradní zkušební pneumatický obvod

Ověření správnosti zjištěných parametrů a zvolených komponent umístěných na koncovém efektoru (podtlakový ejektor, přísavka) bude provedeno na následujícím zkušebním pneumatickém obvodu:



Obr. 77) Zkušební pneumatický obvod

K regulaci vyhovujícího vstupního tlaku stlačeného vzduchu na vstupu do podtlakového ejektoru je při provádění experimentů využito lokálního redukčního ventilu. Na snímači vakua pak bude v závislosti na nastaveném tlaku stlačeného vzduchu zjištěna skutečná hodnota vytvořeného vakua zvoleným zkušebním podtlakovým ejektorem.

Výkres zkušebního pneumatického obvodu je v příloze B ZKUŠEBNÍ PNEUMATICKÝ OBVOD.

10.3 Výpočet zkušebních komponent

Před prováděním samotných zkoušek je také potřeba zjistit jaké zkušební přísavky a délka zkušební hadice budou použity.

10.3.1 Výpočet zkušebních přísavek

Jak bylo uvažováno již v rovnici (12), uchopení nejmenšího uvažovaného štítu bude prováděno čtyřmi sacími otvory. Z tohoto důvodu bude při zkoušení použita přísavka, která má čtyřnásobný průměr vypočítaného průměru jednoho sacího otvoru, proto:

$$D_{testmin} = 4 * D = 4 * 5,5 = 22 \text{ mm} \quad (35)$$

Kde: $D_{testmin}$ – Průměr přísavky použitý pro uchopení nejmenšího uvažovaného štítu [mm]

D – Průměr sacích otvorů v teflonové přísavce [mm]

V případě, že nebude pro provedení zkoušek k dispozici přísavka vypočítaného průměru, bude pak zvolena přísavka s nejbližším průměrem. Pokud zkouška s přísavkou s nejbližším nižším průměrem proběhne úspěšně, lze říct, že uvažované provozní podmínky a navržená konstrukce jsou schopny jednotlivé úkony provést i v neideálních provozních podmínkách, kdy například ejektor nebude schopen vytvořit požadovaný podtlak nebo štítek úplně nepřilne k sacím otvorům atd.

Obdobným způsobem bude vyzkoušeno uchopení největšího uvažovaného štítu. V tomto případě se uvažuje, že k uchopení dojde pomocí devíti sacích otvorů, proto:

$$D_{testmax} = 9 * D = 9 * 5,5 = 49,5 \text{ mm} \quad (36)$$

Kde: $D_{testmax}$ – Průměr přísavky použitý uchopení největšího uvažovaného štítu [mm]

D – Průměr sacích otvorů v teflonové přísavce [mm]

10.3.2 Výpočet délky zkušební hadice

Z důvodů rozdílných průřezů rozvodného kanálku, hadice a sacích otvorů, je potřeba zvolit jeden průřez (vnitřní průměr) zkušební hadice ve zkušebním náhradním pneumatickém obvodu. Z rovnice (17) je znám celkový objem V vedení mezi přísavkou a podtlakovým ejektorem. Pro zkoušení provozuschopnosti je zvolena zkušební hadice o vnitřním průměru hadice 4 milimetry. Ze známého celkového objemu vedení je potřeba zjistit, jak dlouhou zkušební hadici s uvedeným vnitřním průměrem je potřeba na zkoušky použít.

$$V = V_{test} \quad (37)$$

$$V = \frac{\pi * d_{test}^2}{4 * 1000000} * L_{test}$$

Kde: V – Celkový objem vedení [dm³]

V_{test} – Objem zkušební hadice [dm³]

d_{test} – Vnitřní průměr zkušební hadice [mm]

L_{test} – Délka zkušební hadice [mm]

Vyjádřením zkušební délky hadice lze zjistit, že potřebná délka zkušební hadice je:

$$L_{test} = \frac{4 * V}{\pi * d_{test}^2} * 1000000 = \frac{4 * 0,011}{\pi * 4^2} * 1000000 = 875 \text{ mm} \doteq 900 \text{ mm} \quad (38)$$

Kde: L_{test} – Délka zkušební hadice [mm]
 V – Celkový objem vedení [dm³]
 d_{test} – Vnitřní průměr zkušební hadice [mm]

Na základě kapitoly 9 budou vyzkoušeny tyto provozní parametry:

Tab 15) Vstupní parametry zkušební na náhradním zkušebním pneumatickém obvodu

Veličina	Hodnota
Tlak na vstupu do ejektoru	0,3 MPa
Průměr trysky podtlakového ejektoru	0,7 mm
Délka zkušební hadice	900 mm
Vnitřní průměr zkušební hadice	4 mm
Průměr přísavky použitý pro uchopení nejmenšího uvažovaného štítku	22 mm
Průměr přísavky použitý pro uchopení největšího uvažovaného štítku	49,5 mm

10.4 Metodika a postup zkoušení

K provedení zkoušek byly poskytnuty společností PROFIPRINT papírové štítky (největší uvažovaný rozměr) a polyethylenové štítky (nejmenší uvažovaný rozměr). Při provádění zkoušek se posuzuje na základě vizuální kontroly, zda jsou zvolené přísavky schopny při stanovených provozních podmínkách uchopit a odlepit štítek z podkladového papíru. Při provádění zkoušek se uvažuje, že vydaný štítek z tiskového zařízení zůstane ještě z části nalepen. Zbývá neodlepená plocha je šířka štítku krát 5 milimetrů (jak již bylo zmíněno, délku zbylé neodlepené části lze na tiskovém zařízení nastavovat). Na jednotlivé štítky byly naneseny rysky 5 milimetrů od okraje štítku, na nichž zůstávají štítky nalepeny, což by mělo simulovat jejich výdej z tiskového zařízení.



Obr. 78) Zkušební štítky s připravenými ryskami

Zároveň jsou jednotlivé zkoušky uchopení a odlepení provedeny ve vertikální poloze, takže je uvažováno, že tiskové zařízení bude pracovat ve vertikální poloze a taktéž bude v této poloze štítky vydávat.



Obr. 79) Simulovaný výdej zkušební štítky ve vertikální poloze

Následně bude vyzkoušeno vydaný štítek uchopit a odlepit. Pro nejmenší uvažovaný štítek bude použita k odlepení dostupná měchová přísavka o průměru 20 milimetrů a pro největší uvažovaný štítek přísavka s tenkým lemem a opěrnými žebry o průměru 50 milimetrů. Pro vytváření vakua je zvolen podtlakový ejektor v inline provedení (tzn. bez tlumiče hluku) s totožným průměrem trysky (0,7 milimetrů), který odvádí vzduch přes žebra ve svém těle. Princip zvoleného podtlakového ejektoru s vestavěným tlumičem hluku a inline ejektoru se ve funkčnosti neliší, takže může být zvolena dostupná varianta (inline) k provedení zkoušek.



Obr. 80) Použitý inline podtlakový ejektor na provedení zkoušek

Mezi ejektorem a přísavkou vede zkušební spirálová hadice s vnitřním průměrem 4 milimetry o napočítané délce 900 milimetrů.

10.5 Zkoušky funkčnosti a provozuschopnosti navrženého řešení

10.5.1 Uchopení a odlepení nejmenšího uvažovaného štítky

Pro odzkoušení uchopení a odlepení nejmenšího uvažovaného štítky byly použity napočítané parametry. Konkrétně se jedná o tlak stlačeného vzduchu na vstupu podtlakového ejektoru o hodnotě 0,3 MPa a přísavky s průměrem 20 milimetrů (napočítaný průměr 22 milimetrů nebyl v okamžiku provádění zkoušek k dispozici).

V okamžiku uchopení byl skutečný vytvořený podtlak vytvořený podtlakovým ejektorem při stanoveném vstupním tlaku (0,3 MPa), odečtený na zkušebním boxu s vakuometrem, přibližně -66 kPa (66kPa pod hodnotu atmosférického tlaku). Odchylka 0,14 kPa od požadované hodnoty vakua -80 kPa mohla být způsobena ztrátami vzniklými ve vedení – v hadici mezi podtlakovým ejektorem a přísavkou. Nicméně i tento menší vytvořený podtlak vystačil pro uvažovaný průměr přísavky, resp. sacích děr k tomu, aby se nejmenší uvažovaný štítek úspěšně uchopil a odlepil. Na závěr lze na základě provedených zkoušek konstatovat, že čtyři sací otvory v teflonové přísavce o průměru 5,5 milimetrů vystačí k tomu, aby bylo možné nejmenší uvažovaný štítek uchopit, odlepit a následně uvolnit.

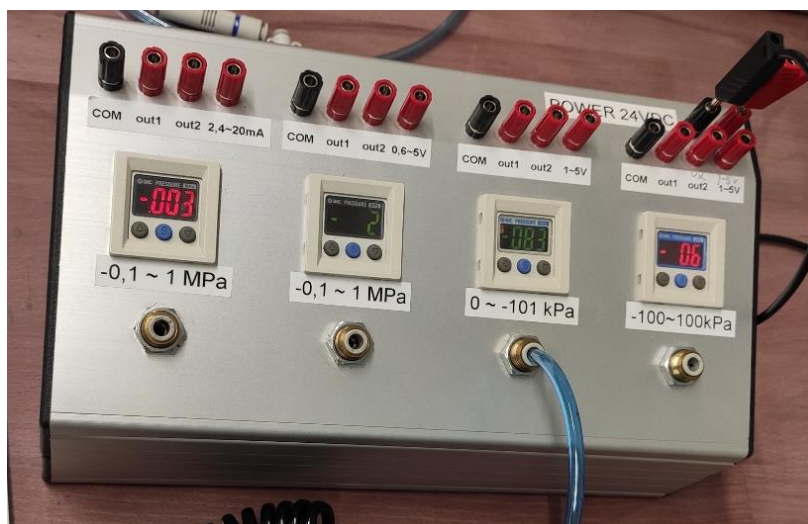


Obr. 81) Skutečná hodnota vytvořeného vakua v okamžiku uchopení nejmenšího uvažovaného štítku

10.5.2 Uchopení a odlepení největšího uvažovaného štítku

Pro odzkoušení uchopení a odlepení největšího uvažovaného štítku, byly opět použity napočítané parametry. Jedná se o tlak stlačeného vzduchu na vstupu podtlakového ejektoru o hodnotě 0,3 MPa a přísavku s průměrem 50 milimetrů (napočítaný průměr 49,5 milimetrů nebyl v okamžiku provádění zkoušek k dispozici).

Při prvním pokusu byl v okamžiku uchopení skutečný vytvořený podtlak ejektorem při stanoveném vstupním tlaku (0,3 MPa), odečtený na zkušebním boxu s vakuometrem, opět přibližně -66 kPa (66 kPa pod hodnotu atmosférického tlaku). Nicméně tento podtlak nedokázal vyvinout dostatečnou úchopnou sílu na to, aby bylo možné štítek bez pomoci uchopit a odlepit. V návaznosti na tom, byla následně hodnota tlaku stlačeného vzduchu na vstupu ejektoru zvýšena na 0,35 MPa. Při takto navýšeném tlaku již dokázala přísavka bezproblémově uchopit a odlepit největší uvažovaný štítek. Skutečná hodnota vytvořeného vakua v okamžiku uchopení se pohybovala okolo hodnoty -83 kPa. Z toho plyne, aby zvolený podtlakový ejektor dokázal vytvořit podtlak o hodnotě -80 kPa, je potřeba mít tlak stlačeného vzduchu na vstupu o hodnotě cca 0,35 MPa namísto původně zjištěných 0,3 MPa. Na závěr lze na základě provedených zkoušek prohlásit, že devět sacích otvorů v teflonové přísavce o průměru 5,5 milimetrů vystačí k tomu, aby bylo možné největší uvažovaný štítek uchopit, odlepit a následně uvolnit.



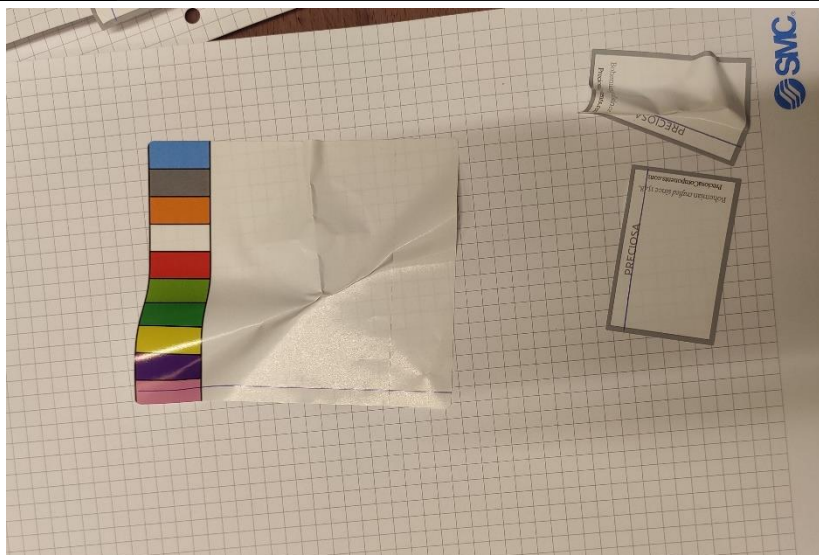
Obr. 82) Skutečná hodnota vytvořeného vakua v okamžiku uchopení největšího uvažovaného štítku

10.5.3 Dílčí závěr

Na základě provedených zkoušek bylo zjištěno, že průměr navržených sacích otvorů a jejich počet vyhovuje pro manipulaci s uvažovanými štítky. K odchylkám docházelo v hodnotách mezi požadovanou hodnotou vytvořeného vakua a skutečného vytvořeného vakua pomocí podtlakového ejektoru. Zkouškami bylo zjištěno, že pro uspokojivou manipulaci s nejmenším štítkem stačí vytvořit podtlak o hodnotě přibližně -66 kPa, tj. přibližně o 14 kPa méně, než bylo původně předpokládáno. Pro uspokojivou manipulaci s největším uvažovaným štítkem sice původně předpokládaná hodnota vytvořeného vakua podtlakovým ejektorem -80 kPa vystačí, avšak na úkor toho bude potřeba zvýšit hodnotu stlačeného vzduchu na vstupu přibližně o 0,05 MPa.

Jelikož se hodnota vytvořeného vakua v závislosti na počtu použitých sacích otvorů a vstupním tlaku stlačeného vzduchu znatelně mění, bude koncový efektor (a současně i pneumatický obvod) doplněn o digitální snímač hladiny vytvořeného vakua. Tento snímač umožní v závislosti na regulovaném tlaku (pomocí regulačního ventilu) zjistit skutečnou hodnotu vytvořeného vakua v okamžiku uchopení předmětu a zároveň i usnadní a zrychlí práci při údržbě a zjišťování hodnot potřebných parametrů pro úspěšnou manipulaci koncového efektoru s jednotlivými štítky. Touto konfigurací lze zjistit skutečný vytvořený podtlak ejektorem v závislosti na dodávaném tlaku stlačeného vzduchu i v situacích, kdy bude podtlakový ejektor již v pozdější fázi svého technického života a bude potřeba hodnotu stlačeného vzduchu navyšovat.

Pro zajímavost byly štítky po uchopení a odlepení zkušebními přísavkami umístěny na papírový nosič (papírový blok). Nicméně umístěné štítky byly zdeformované (pokrčené). Tato deformace je způsobena malou kontaktní plochou mezi přísavkou a štítkem. Zvolená konstrukční varianta obsahující teflonovou přísavku se sacími otvory proto zajistí, že k této deformaci uchopených štítků nedojde. Uchopený (přísátý) štítek se může totiž celou svoji kontaktní plochou opřít o kontaktní plochu přísavky.



Obr. 83) Nepřípustná deformace štítků vzniklá při jejich uchopení přísavkami

10.6 CFD simulace

10.6.1 Motivace

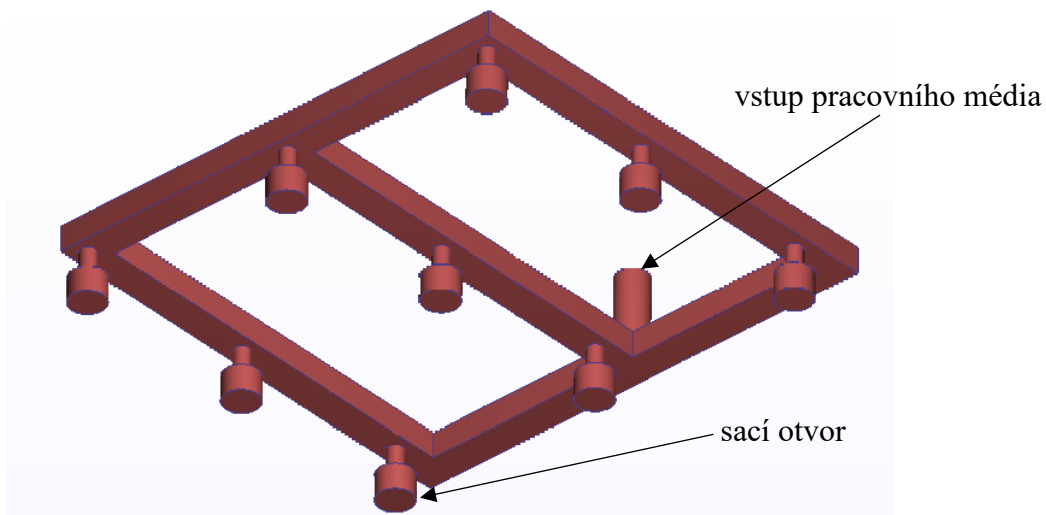
Provedením CFD simulace lze pomocí vhodných počátečních a okrajových podmínek zjistit, co se děje „uvnitř“ aktuátoru koncového efektoru v okamžiku, kdy je vystaven pracovnímu médiu (podtlak). Pomocí CFD simulace bude zkoumáno, zda nejsou úniky vakua nepřijatelné a zda zjištěná doba k dosažení vakua 0,41 sekund z rovnice (31) vystačí k tomu, aby bylo dosaženo stanovené hodnoty vakua. Na základě provedení CFD simulace lze zároveň ověřit funkčnost navrženého konstrukčního řešení a také ověřit, zda zvolený podtlakový ejektor dokáže vytvořit vakuum v „reálnějších“ podmínkách.

CFD simulace jsou provedeny zvlášť pro uchopení nejmenšího uvažovaného labelu a největšího uvažovaného labelu.

Simulace jsou provedeny v SW Autodesk CFD 2019.

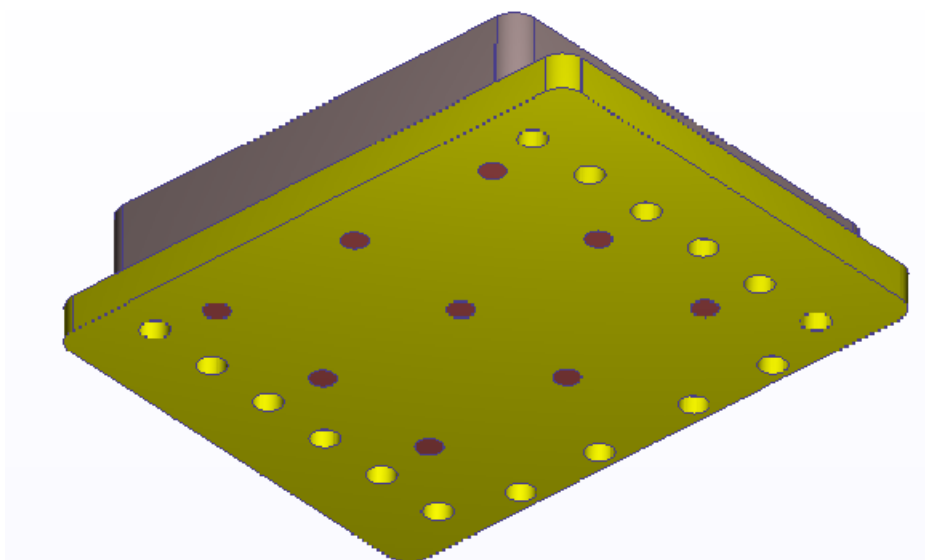
10.6.2 Přiřazování materiálových charakteristik

Po importování vymodelované zkoumané geometrie je nejprve potřeba definovat simulovaný prostor. V tomto případě jsou pomocí funkce „Void fill“ označeny plochy sacích otvorů a vstup pracovního média otvorem na horní ploše rozvodného segmentu. Jejich definováním SW následně vytvoří vzájemná propojení mezi nimi a vznikne tak objem, na kterém jsou následně definovány počáteční a okrajové podmínky.



Obr. 84) Zkoumaný vytvořený objem aktuátoru

Před definováním počátečních a okrajových podmínek je ještě potřeba přiřadit materiálové charakteristiky jednotlivým součástím importovaného modelu aktuátoru. Pro rozvodný segment (šedá součást) je přiřazeno pevné skupenství a materiálem je hliník. Pro přísavku (žlutá součást) je opět přiřazeno pevné skupenství, ale jelikož zde v nabídce není materiál teflon, je pro zjednodušení zvolen materiál akryl, který je také plastem. Tato volba není pro provedení simulace zásadní, protože není zkoumán přenos tepla, kde je klíčové definovat charakteristiky prostupnosti tepla jednotlivým materiálům a teplotu. Pomocí zmíněné funkce „Void fill“ došlo k vytvoření dalšího objemu (červená část), na kterém je také potřeba definovat materiálové charakteristiky. Pro tento vytvořený a zkoumaný objem je definováno plynné skupenství a materiál vzduch.



Obr. 85) Model aktuátoru v prostředí Autodesk CFD 2019

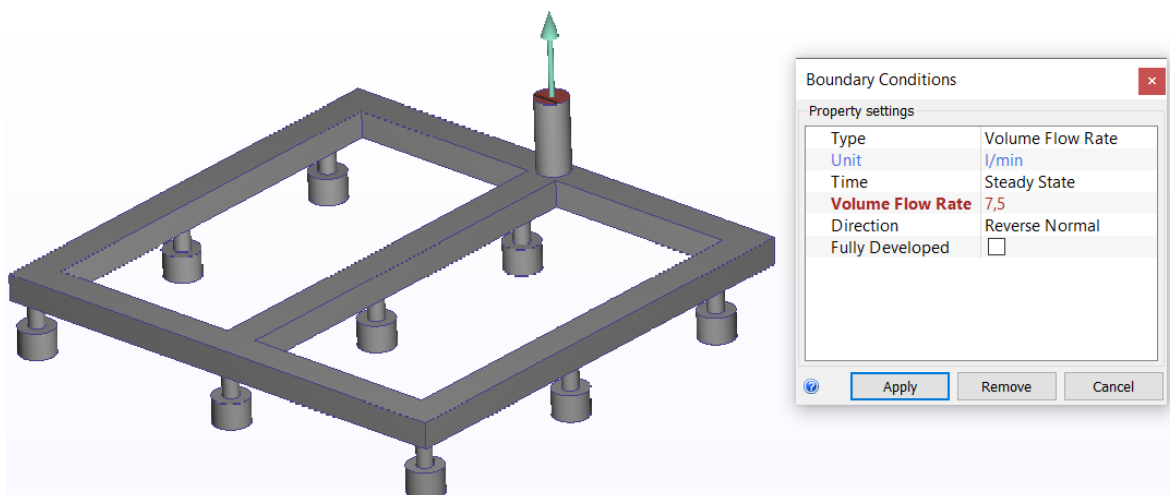
Postup je popsán na konfiguraci pro manipulaci s největším uvažovaným labelem. Stejný postup je volen i pro konfiguraci, kdy je manipulováno s nejmenším uvažovaným labelem, rozdíl je pouze v tom, že místo devíti sacích otvorů jsou v tomto případě pouze čtyři.

10.6.3 Síťování a definice počátečních a okrajových podmínek

Po definování materiálových charakteristik následuje síťování zkoumaného objemu. Pro provedenou simulaci byla zvolena softwarem automaticky vytvořená síť, na jejíchž prvcích jsou ještě před spuštěním simulace provedeny automatické korekce velikosti podle definování zadání.

Pro simulaci je uvažovaná situace, kdy jsou sací otvory na počátku děje vystaveny pouze atmosférickému tlaku (0,1 MPa) a rychlost proudícího vzduchu v sacích otvorech je $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tento stav je definován v „Initial conditions“, kde jsou označeny plochy sacích otvorů a k nim jsou přiřazeny již zmíněné parametry.

Do okrajových podmínek jsou definováni činitelé, které na zkoumaný systém během děje působí. V záložce „Boundary conditions“ je na plochu vstupu pracovního média definován tlak, jehož hodnota je podle rovnice (10) a (11) -80 kPa a dále objemový průtok, jehož hodnota je podle rovnice (27) $7,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Tyto parametry představují zjednodušený výstup z podtlakového ejektoru oprostěný od ztrát, které by mohly vzniknout průchodem pracovního média přes hadice mezi podtlakovým ejektorem a rozvodným segmentem. Protože podtlakový ejektor způsobuje sání, je vektor objemového průtoku zvolen směrem ven, viz obrázek níže. U veličin definovaných v okrajových podmínkách se neuvažuje, že by se jejich stav v čase měnil, proto je zvolena položka „Steady state“, která provede stacionární chování veličin v čase.



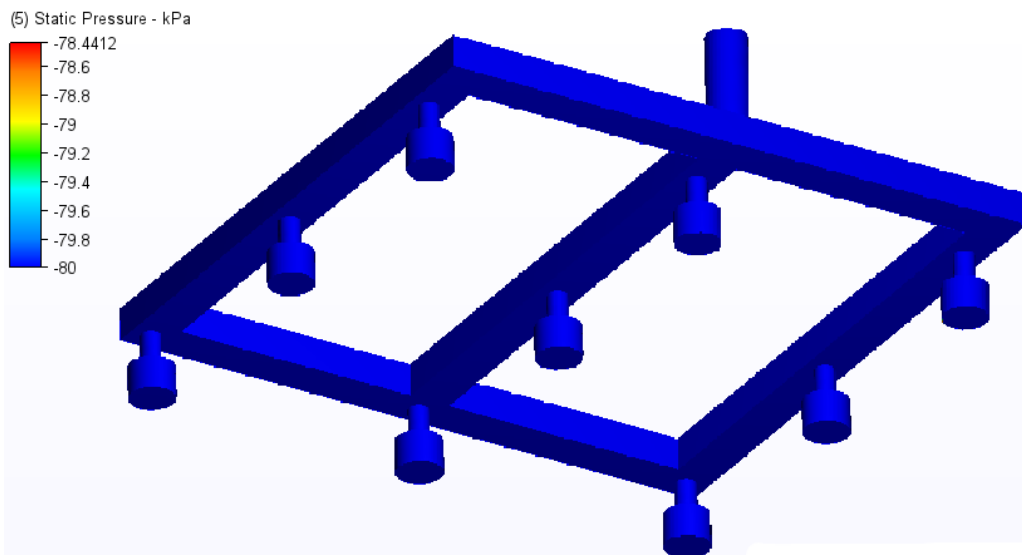
Obr. 86) Definování okrajových podmínek zkoumaného objemu

10.6.4 Výsledky

Výsledky jsou ověřovány v čase 0,4 sekundy. Tento čas je zvolen, protože se ověřuje, zda jsou navržená konstrukce a zvolený podtlakový ejektor schopny v čase 0,41 sekundy (viz rovnice (31)) dosáhnout stanovené hladiny podtlaku. Jelikož je zkoumán stav v čase, je řešení úlohy nastaveno jako transienční. Výpočet je u obou zkoumaných případů prováděn s krokem 0,02 sekundy, což znamená, že se provede celkem 20 výpočetních kroků.

Největší uvažovaný label

Výsledky konfigurace sacích otvorů pro manipulaci s největším uvažovaným štítkem vyšly příznivě. V čase 0,4 sekundy je podle provedené simulace podtlakový ejektor schopen vytvořit podtlak o hladině -80 kPa, kterým jsou sací otvory přísavky schopny label přisát.

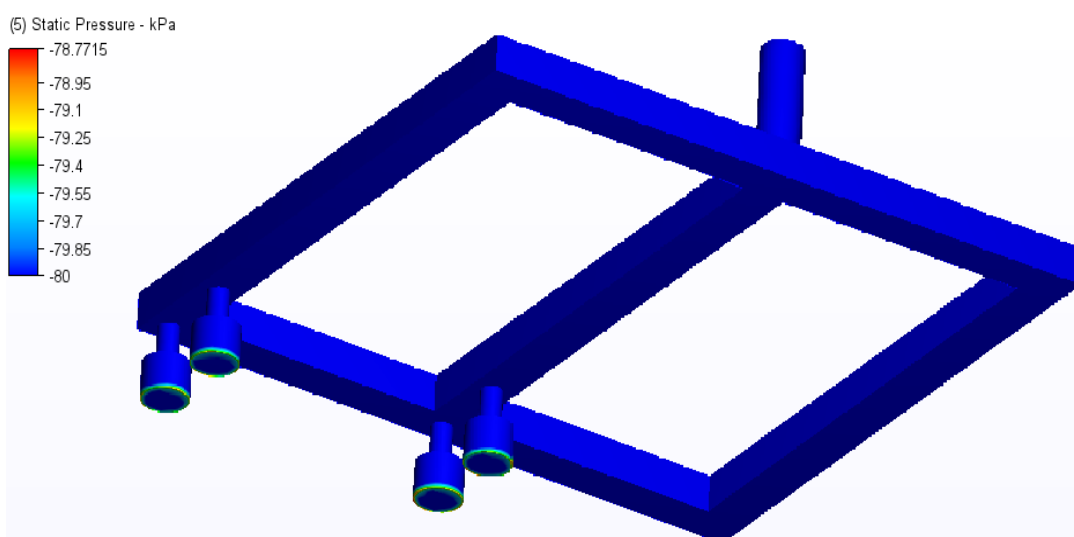


Obr. 87) Výsledky konfigurace sacích otvorů pro manipulaci s největším uvažovaným labelem

V čase 0,4 sekundy lze nalézt na zkoumaném systému místa, kde je hodnota vytvořeného podtlaku -78,4 kPa. Evidentní ztrátu vytvořeného podtlaku lze na těchto místech zanedbat, protože místa s touto ztrátou jsou poměrově zanedbatelná vzhledem k celkové ploše sacího otvoru. Hodnota vytvořeného podtlaku na sacích otvorech téměř neklesne pod hodnotu -80 kPa, což je v tomto případě vyhovující.

Nejmenší uvažovaný label

Postup výpočtu je stejný jako pro konfiguraci sacích otvorů pro manipulaci s největším uvažovaným labelem. Výsledky jsou opět příznivé. Podtlakový ejektor je schopen v čase 0,4 sekundy vytvořit podtlak o hodnotě -80 kPa.



Obr. 88) Výsledky konfigurace sacích otvorů pro manipulaci s nejmenším uvažovaným labelem

V čase 0,4 sekundy lze nalézt na zkoumaném systému místa, kde je hodnota vytvořeného podtlaku -78,8 kPa. Zřejmou ztrátu vytvořeného podtlaku lze opět na těchto místech zanedbat, protože místa s touto ztrátou jsou poměrově zanedbatelná vzhledem k celkové

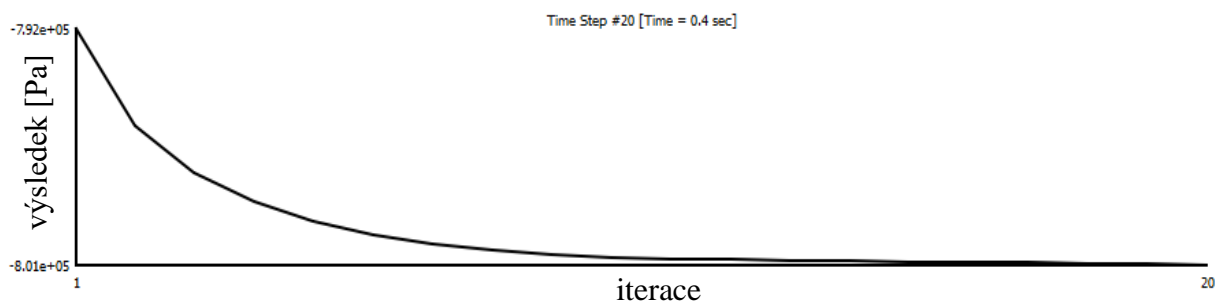
ploše sacího otvoru. Hodnota vytvořeného podtlaku na sacích otvorech také výrazně neklesne pod hodnotu -80 kPa, což je v tomto případě vyhovující.

10.6.5 Dílčí závěr

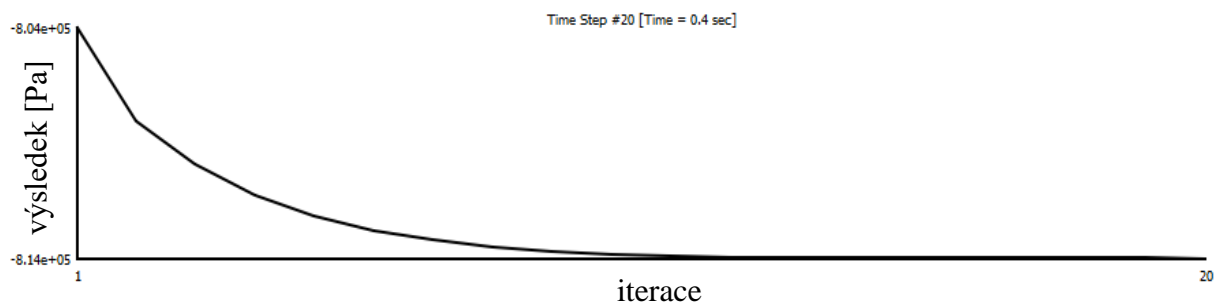
CFD simulace provedené v této kapitole přinesly vyhovující výsledky. Ztráty vytvořené hladiny vakua jsou u obou zkoumaných případů přípustné. Dále lze konstatovat, že úvaha použitá v návrhových výpočtech a při výpočtu zkušební délky hadice, kdy se celkový objem rozvodných kanálků nahradil objemem vnitřní části hadice o jednom průměru, byla v tomto případě správná.

Transientní CFD simulace rovněž prokázala, že zvolená konstrukční varianta je funkční a zvolený podtlakový ejektor umožňuje vytvořit v čase 0,41 sekundy hladinu vakua o požadované hodnotě. V praxi lze zmíněné ztráty snížit zvýšením tlaku stlačeného vzduchu vstupujícího do podtlakového ejektoru, který by následně vytvořil větší hladinu vakua. Simulace je provedena bez zahrnutí možných ztrát při průchodu média hadicemi mezi podtlakovým ejektorem a rozvodným segmentem, dále je simulace provedena s úvahou dokonalého těsnění mezi rozvodným segmentem a přísavkou (takže nedochází k úniku pracovního média na rozhraní rozvodného segmentu a přísavky).

Věrohodnost zjištěných výsledků lze ověřit několika způsoby, například zkušenostmi v této oblasti nebo zjištěním konvergence výpočtů. Pro ověření je zvolen druhý způsob. Průběh mezivýsledků získaných v jednotlivých krocích neosciluje, má klesající charakter a rozdíly mezivýsledků cca od kroku 10 jsou téměř minimální (průběh od tohoto kroku je takřka konstantní). Proto lze říct, že zvolený počet kroků (v tomto případě 20) stačí k tomu, aby bylo možné získané výsledky prohlásit za věrohodné. Průběhy jednotlivých výsledků jsou uvedeny níže.



Obr. 89) Graf konvergence získaný při simulaci manipulace nejmenšího uvažovaného labelu



Obr. 90) Graf konvergence získaný při simulaci manipulace největšího uvažovaného labelu

11 KOSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

11.1 Požadavky na konstrukci

Na konstrukci koncového efektoru jsou kladeny následující požadavky:

- 1) zajištění univerzálnosti konstrukce aktuátoru koncového efektoru pro potřeby různých geometrických rozměrů obou vstupních médií,
- 2) kompaktní rozměry a nízká hmotnost koncového efektoru (cca do 3 kilogramů),
- 3) dobrá dostupnost komponent pořízených nákupem, popřípadě vlastní výrobou v dílnách ústavu.

Řešení jednotlivých požadavků bude uvedeno v následující kapitole.

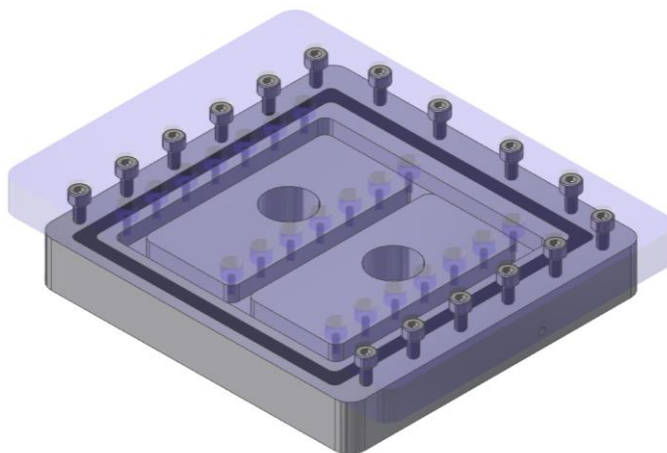
11.2 Popis konstrukce a konstrukční řešení požadavků

11.2.1 Popis konstrukce

Zvolená konstrukční varianta 4 prošla po uvedených návrhových výpočtech, úvahách a zkouškách vývojem. Konečné provedení koncového efektoru je doplněno o 3D kameru, která slouží k polohování kolaborativního robotu (princip polohování 3D kamerou je uveden v kapitole 5.1.2) a snímačem hladiny vakua, pro odečítání skutečné hodnoty vytvořeného vakua během údržby, uvádění koncového efektoru do provozu a samotném provozu.

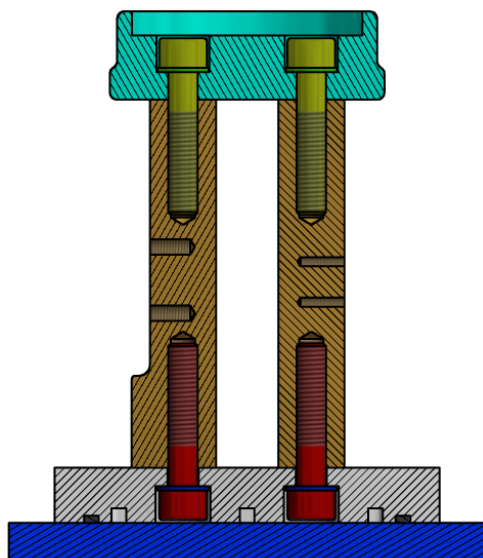
Spojovací příruba, závitová spojka a rozvodný segment jsou z hliníku, přísavka je z teflonu. Hliník má oproti oceli přibližně poloviční hustotu, což v tomto případě dovoluje provedení zvolené konstrukce. Materiál přísavky – teflon umožňuje vést štítek po povrchu přísavky v okamžiku jeho výdeje z tiskového zařízení.

Aktuátor je tvořen rozvodným segmentem (stříbrná součást) a teflonovou přísavkou (průhledná modrá součást). Aby došlo k minimalizaci ztrát vytvořeného vakua mezi plochou rozvodného segmentu a přísavkou, je do rozvodného segmentu vyfrézovaná drážka, do které se vloží bužírka (černá součást). Přišroubováním přísavky do rozvodného segmentu opatřeného vloženou bužírkou dojde ke stlačení bužírky, jejíž účinek se projeví těsněním vymezeného prostoru.



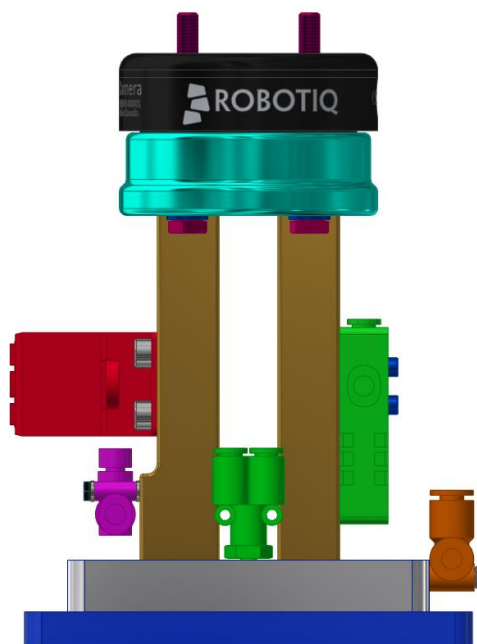
Obr. 91) Aktuátor koncového efektoru

Aktuátor (šedá a modrá součást) je se spojovací přírubou (tyrkysová součást) spojen pomocí dvou závitových spojek obdélníkového průřezu (hnědá součást), přičemž aktuátor je k závitovým spojkám přišroubován pomocí dvou šroubů a podložek. Stejný princip je využit i k připevnění závitových spojek ke spojovací přírubě.



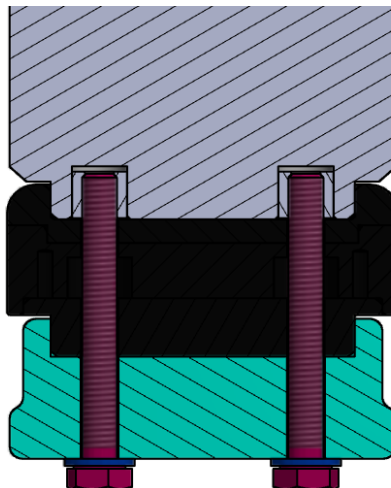
Obr. 92) Spojení aktuátoru se spojovací přírubou

Na závitových spojkách je přišroubován podtlakový ejektor (zelená součást vpravo), snímač vakua (červená součást) a škrťací ventil (fialová součást). Vstup pracovního média do aktuátoru je prostřednictvím zašroubované t-spojky (zelená součást uprostřed) na horní ploše rozvodného segmentu. K rozvodu pracovních médií jsou použity měkké nylonové hadice (TS), které dovolují menší poloměr ohybu. K měření vytvořené hladiny vakua pomocí snímače vakua je potřeba měřit výstup z podtlakového ejektoru, proto je ještě koncový efektor na pravé boční straně rozvodného segmentu opatřen t-spojkou (oranžová součást).



Obr. 93) Koncový efektor

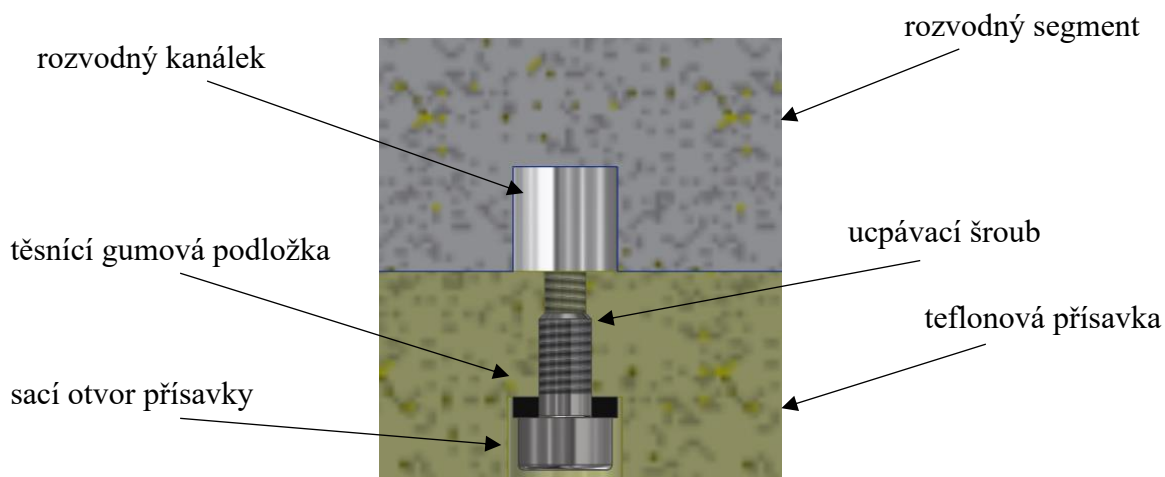
Na spojovací přírubu (tyrkysová součást) je nasunuta 3D kamera (černá součást), pod kterou se nachází ochranný kryt. Spojovací příruba je navržena tak, aby rozmístění otvorů odpovídalo rozmístění montážních otvorů v přírubě robotu (horní šedá součást). Rozmístění otvorů ve spojovací přírubě a 3D kameře je opět totožné. V tomto případě lze tedy spojovací přírubu a 3D kameru spojit s přírubou robotu pomocí čtyř šroubů a podložek.



Obr. 94) Řez spojením spojovací příruby a 3D kamery s přírubou robotu

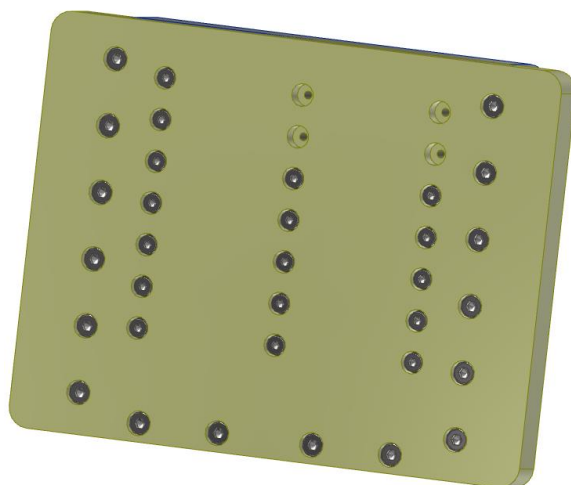
11.2.2 Konstrukční řešení požadavků

Univerzálnost použití konstrukce aktuátoru koncového efektoru (rozvodný segment a teflonová přísavka) pro různé geometrické rozměry vstupních médií je řešeno provedením 21 sacích otvorů v teflonové přísavce. Tímto způsobem lze pracovat s širokou škálou různých geometrických tvarů vstupních médií, jejichž rozměry se pohybují v rozmezí nejmenšího uvažovaného štítu (35x55 milimetrů) a největšího uvažovaného štítu (88x100 milimetrů). Protože by mohlo docházet k situacím, kdy nebude štítek uchopen všemi sacími otvory z důvodu nasávání falešného okolního vzduchu, čímž dojde ke ztrátě vytvořeného vakua a úchopné síly, tak je tento nepříznivý jev řešen ucpáním nepotřebných sacích otvorů. Jednotlivé sací otvory v přísavce jsou opatřeny závitovou částí, do které se zašroubuje šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (imbusový šroub), pod válcovou hlavu šroubu je ještě vložena gumová podložka. Gumová podložka slouží jako těsnění, takže minimalizuje nasávání falešného okolního vzduchu.



Obr. 95) Řešení ucpání nepotřebných sacích otvorů přísavky

Tímto způsobem lze nastavit vhodný počet sacích otvorů pro jednotlivé štítky o různých geometrických rozměrech. Na následujícím obrázku je uveden příklad konfigurace sacích otvorů při manipulaci s nejmenším uvažovaným štítkem.



Obr. 96) Konfigurace sacích otvorů přísavky pro manipulování s nejmenším uvažovaným štítkem

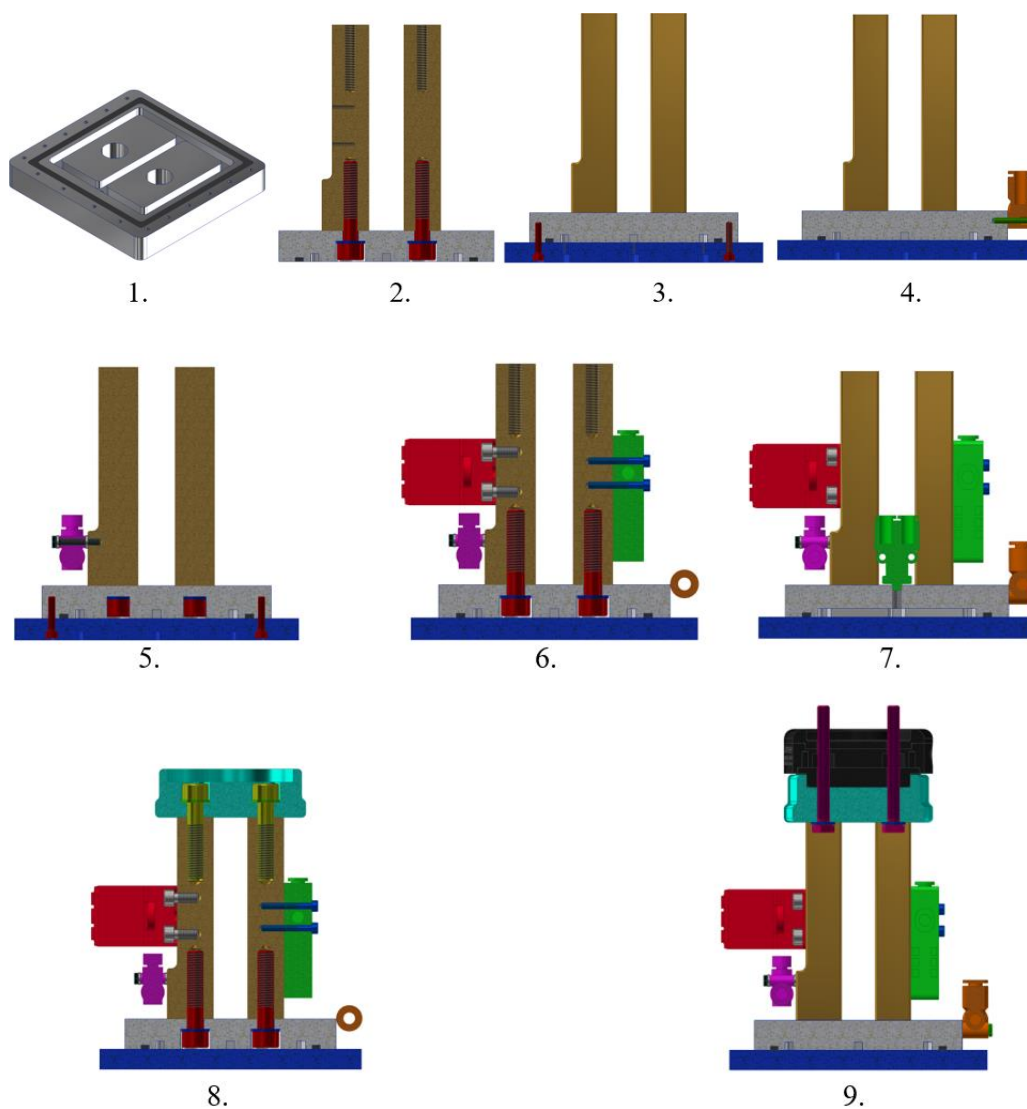
Hmotnost celé konstrukce koncového efektoru, včetně vakuometru a 3D kamery je 1,62 kilogramů. Celkové rozměry koncového efektoru jsou 105x130x174 milimetrů (délka x šířka x výška), takže lze říct, že kompaktních rozměrů konstrukce koncového efektoru je dosaženo.

Zvolené komponenty pneumatického obvodu umístěné na koncovém efektoru jsou od společnosti SMC, přičemž byly vybrány vhodné a aktuálně dostupné komponenty.

11.3 Montážní postup

1. Do vyfrézované usazovací drážky v rozvodném segmentu (šedá součást) se vloží bužírka (černá součást).
2. Závitové spojky (hnědá součást) jsou zafixovány k rozvodnému segmentu (šedá součást) pomocí dvojice šroubů (červená součást) a podložek (tmavomodrá součást).
3. Teflonová přísavka (tmavomodrá součást) je k rozvodnému segmentu (šedá součást) přimontována pomocí 16 šroubů (červená součást). Jejich zašroubování způsobí stlačení vystupující těsnící bužírky (černá součást) a dojde tak k minimalizaci ztrát vytvořeného vakua podtlakovým ejektorem.
4. T-spojka (oranžová) je k rozvodnému segmentu (šedá součást) upevněna šroubem (stříbrná součást vpravo).
5. Škrticí ventil (fialová součást) je k závitové spojce (hnědá součást) přimontován pomocí dvou šroubů (černá součást) a čtyř podložek (šedá součást).
6. Podtlakový ejektor (zelená součást) je k pravé závitové spojce přimontován dvěma šrouby (tmavomodrá součást vpravo). Snímač vakua (červená součást vlevo) je k levé závitové spojce připevněn dvěma šrouby (šedá součást).
7. Nástrčná spojka (zelená součást uprostřed) vstupující do rozvodného segmentu (šedá součást) je zašroubována svým vnějším závitem do otvoru rozvodného segmentu.
8. Závitové spojky (hnědá součást) jsou zafixovány k přírubě (tyrkysová součást) pomocí dvojice šroubů (žlutá součást) a podložek (zelená součást).

9. Do spojovací příruby (tyrkysová součást) jsou nasunuty čtyři šrouby (fialová součást), pod jejichž hlavou jsou podložky (tmavomodrá součást). Na spojovací přírubu je nasunuta krytka kamery a samotná 3D kamera (černá součást). Otvory v přírubě, kaměře a její krytce mají shodnou rozteč a stejný roztečný průměr. Takto sestavený koncový efektor se nasune na přírubu robotu (šedá součást nahoře) a pomocí šroubů se koncový efektor k přírubě robotu zafixuje.

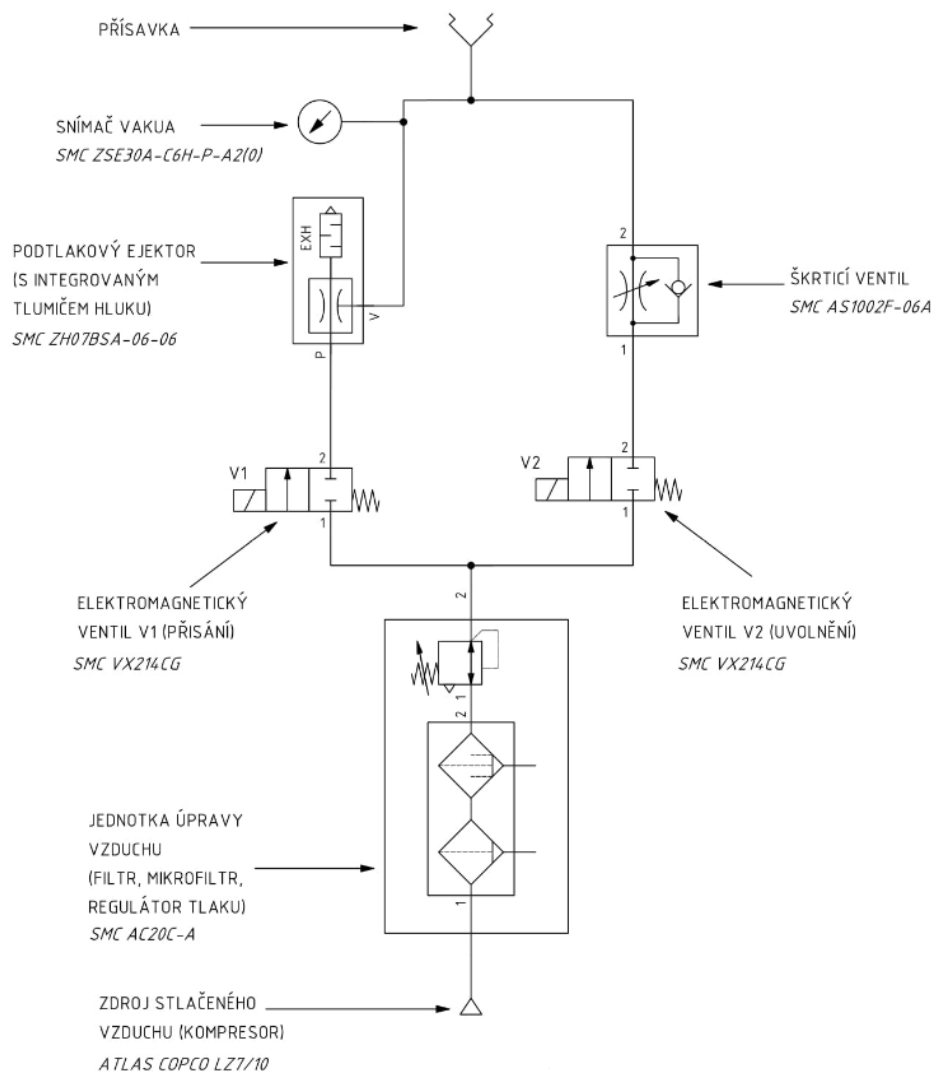


Obr. 97) Montážní postup koncového efektoru

11.4 Konečný pneumatický obvod

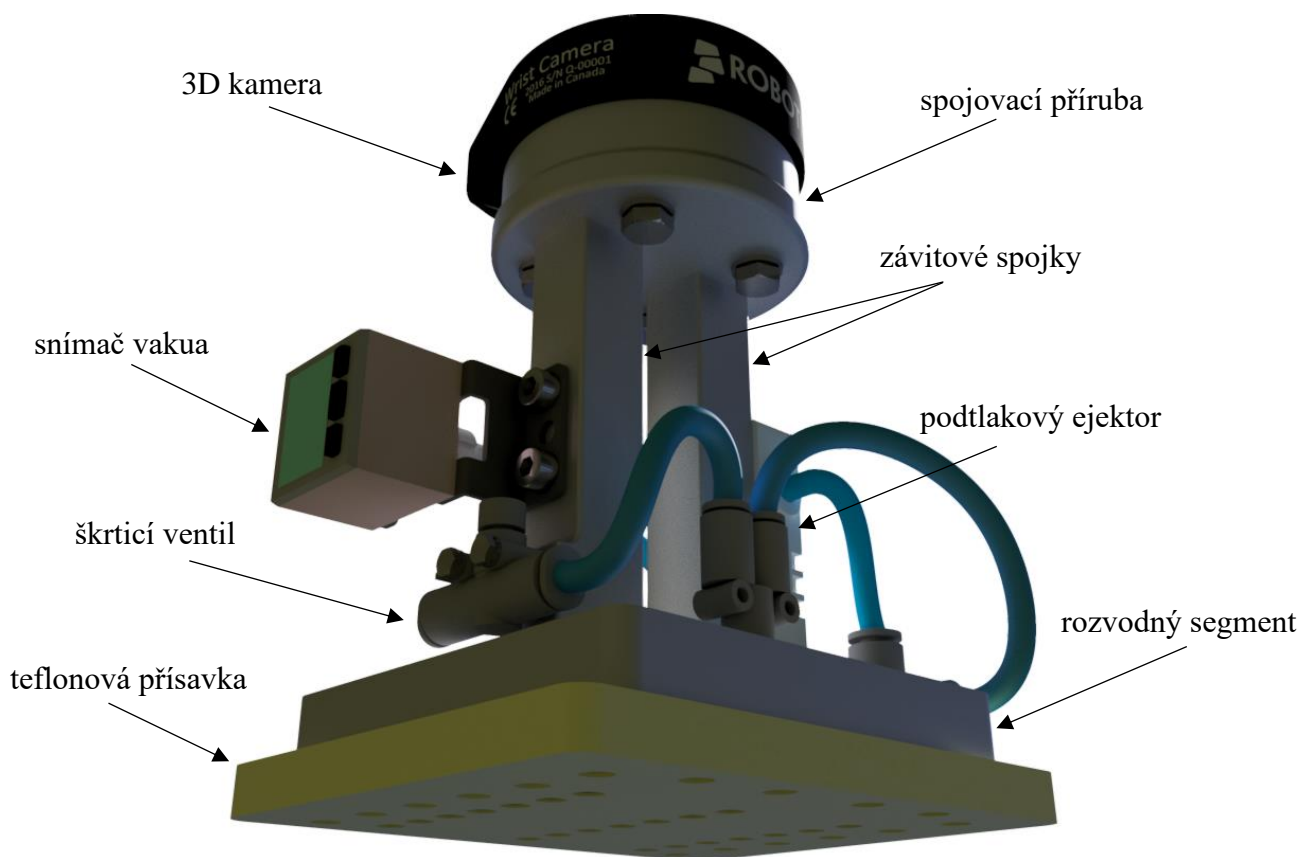
Konečný pneumatický obvod se od původně navrženého pneumatického obvodu liší pouze tím, že je opatřen snímačem vakua, který je umístěn mezi podtlakový ejektor a přísavkou.

Výkres konečného pneumatického obvodu je v příloze B PNEUMATICKÝ OBVOD KONEČNÝ.

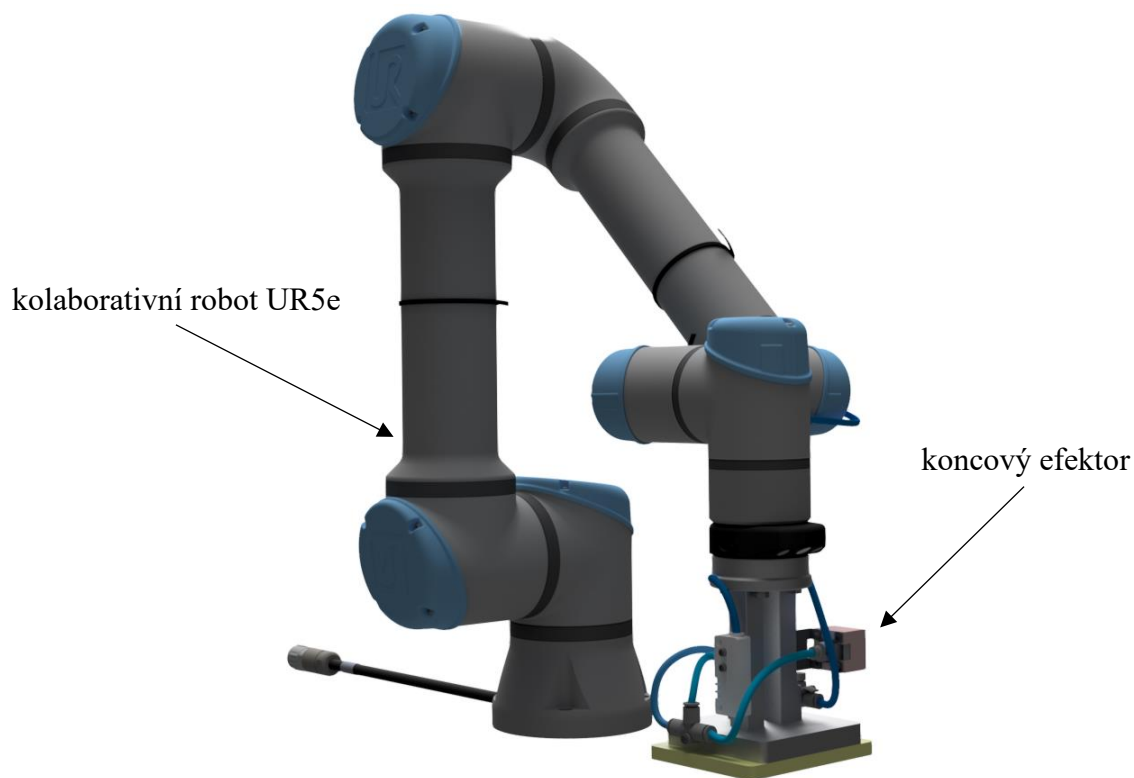


Obr. 98) Konečný pneumatický obvod

11.5 Rendery koncového efektoru



Obr. 99) Popis koncového efektoru



Obr. 100) Koncový efektor namontovaný na kolaborativním robotu UR5e

12 KOMENTÁŘ K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI

Rozvodný segment [Příloha DP-KE-01]

Hlavní pohled (půdorys) ukazuje rozmístění závitových otvorů M3 H6x10 (hloubka otvoru 10), do kterých se šroubují šrouby M3, které spojí rozvodný segment s přísavkou. Jelikož se jedná o funkční otvory, které na sebe funkčně navazují, je poloha jednotlivých otvorů určena tolerovanými kótami od základny, v tomto případě byla zvolena symetrická odchylka $\pm 0,1$. Na tomto pohledu se dále nachází závitový otvor M5 H6, do kterého se z opačné strany šroubuje nástrčná spojka, ta slouží jako vstup média napříč kanálky rozvodného segmentu.

Rozvodné kanálky a drážka pro těsnění jsou zakótovány pomocí střednic (čerchované čáry), jednotlivé střednice mají tvar obdélníku, jejichž první rozměr je uveden v hlavním pohledu a rozměr druhý je uveden v řezu A-A. Pro usnadnění orientace je druhý rozměr střednice veden čerchovanou čarou z hlavního pohledu do řezu. Pro přehlednost jsou v řezu ještě odkazovými čarami uvedeny účely jednotlivých vyfrézovaných průřezů. V řezu jsou dále zakótovány otvory, které slouží pro vložení šroubů M8, které spojují rozvodný segment se závitovými spojkami. I v tomto případě se jedná o funkční otvory, a tak je zde pro jejich vzdálenost stanovena tolerance $\pm 0,1$.

V řezu A-A je dále uvedena tolerance rovinnosti ploch rozvodného segmentu, ta je zde stanovena z důvodu zaručeného dosednutí ploch spojovaných součástí (závitové spojky a přísavky). Hodnota tolerance rovinnosti určené z tabulek je 0,006.

Součást je symetrická podél jedné osy, materiálem součásti je hliník EN 573-3.

Závitová spojka 1 [Příloha DP-KE-02]

Hlavní pohled (půdorys) ukazuje čtvercový profil součásti. V jejím středu je proveden řez A-A. V řezu jsou zakótovány závitové otvory M8 H6x35 a M8 H6x32, které slouží pro zašroubování šroubů M8 vložených ve spojovací přírubě a rozvodném segmentu. Otvory M3 H6x11 slouží k přimontování podtlakového ejektoru, jejich vzdálenost je opět tolerována $\pm 0,1$.

Tolerance rovinnosti opěrných ploch určených z tabulek je 0,006. Součást je symetrická podél jedné osy a materiálem součásti je hliník EN 573-3.

Závitová spojka 2 [Příloha DP-KE-03]

Hlavní pohled (nárýs) ukazuje rozmístění závitových otvorů M3 H6x6, které slouží k přimontování škrticího ventilu. Jejich vzdálenost je to tolerována $\pm 0,1$. Současně je možné v tomto pohledu vidět tolerance rovinnosti opěrných ploch určených z tabulek, jejichž hodnota je 0,006.

Od nárýsu je odvozen půdorys a řez A-A (bokorys). V půdoryse jsou uvedeny rozměry profilu součásti. V řezu A-A jsou specifikovány závitové otvory M8 H6x35 a M8 H6x32, které slouží pro zašroubování šroubů M8 vložených ve spojovací přírubě a rozvodném segmentu. Otvory M5 H6x11 slouží k přimontování snímače vakua, jejich vzdálenost je opět tolerována $\pm 0,1$.

Součást je symetrická podél jedné osy, materiálem součásti je hliník EN 573-3.

Přísavka [Příloha DP-KE-04]

Hlavní pohled (půdorys) ukazuje průchozí otvory (otvory blíže k obvodu součásti), do kterých se vkládají šrouby M3, které spojí rozvodný segment s přísavkou. Jelikož se jedná o funkční otvory, které na sebe funkčně navazují, je poloha jednotlivých otvorů určena tolerovanými kótami od základny, v tomto případě byla zvolena symetrická odchylka $\pm 0,1$. Ke stejnému pohledu je provedena pro přehlednost i tabulka otvorů, na které jsou uvedeny souřadnice jednotlivých sacích otvorů. Tyto otvory jsou závitové, takže pro jejich ucpání je do nich třeba zašroubovat šroub M2,5 opatřený gumovou podložkou.

Nárys ukazuje toleranci rovinnosti kontaktních ploch přísavky. Obě tolerance jsou stanoveny z tabulek, přičemž přísnější tolerance platí pro plochu, která je v kontaktu s rozvodným segmentem.

Součást je symetrická podél jedné osy a materiálem součástí je teflon PTFE.

Spojovací příruba [Příloha DP-KE-05]

Hlavní pohled (nárys) ukazuje rozmístění čtyř průchozích otvorů $\varnothing 6,5$, které jsou na roztečné kružnici $\varnothing 50$ (tolerance $\pm 0,1$) umístěné po 90 stupních. Do těchto otvorů se vkládají šrouby spojující koncový efektor s přírubou robotu.

Řez A-A, vedený osou symetrie součásti, ukazuje rozmístění otvorů sloužících pro vložení šroubů M8, které spojují spojovací přírubu se závitovými spojkami. Jejich vzájemná vzdálenost je tolerována symetrickou odchylkou $\pm 0,1$. Na tomto pohledu se zároveň nachází i rozměr $\varnothing 63$ H8, do tohoto otvoru se vkládá kryt 3D kamery. Navazující rozměr dodávaného krytu je stanoven podle *ISO 9409-1-50-4 M6*. Tolerance H8 je zvolena z důvodu následného smykového uložení H8/h8, které umožňuje součásti do sebe rukou zasunout a mají být snadno snímatelné. Současně je pro tento rozměr ($\varnothing 63$ H8) stanovena podle tabulek tolerance kruhovitosti, která je 0,01. Tolerance rovinnosti opěrné plochy je určena z tabulky a její hodnota je 0,005.

Součást je symetrická podél dvou os a materiálem součástí je hliník EN 573-3.

Koncový efektor [Příloha DP-KE-00]

Hlavním pohledem (bokorys) je veden podél roviny symetrie závitového otvoru řez A-A. Na tomto řezu je zakótováno uložení H8/h8 krytu 3D kamery (pozice 13) ve spojovací přírubě (pozice 5).

Řez G-G ukazuje, jakým způsobem je do rozvodného segmentu (pozice 1) dopravováno pracovní médium. Médium zde dopravuje zašroubovaná nástrčná spojka (pozice 11) s vnějším závitem M5. Na tomto pohledu je také možné spatřit i situaci, kde jsou jednotlivé sací otvory přísavky (pozice 4) ucpány pomocí zašroubovaných šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (pozice 23), které jsou opatřeny ještě gumovými podložkami (pozice 20) sloužícími jako těsnění.

Na dalších pohledech jsou vždy ukázány spojované součásti, u kterých jsou uvedeny současně i pozice, což je důvod, proč jsou u některých součástí uvedeny pozice vícekrát.

Na výkresu sestavy jsou uvedeny hlavní rozměry celé sestavy. Na dalších listech se nachází kusovník sestavy.

Výkres příruby kolaborativního robotu UR5e a 3D kamery se nachází v příloze D.

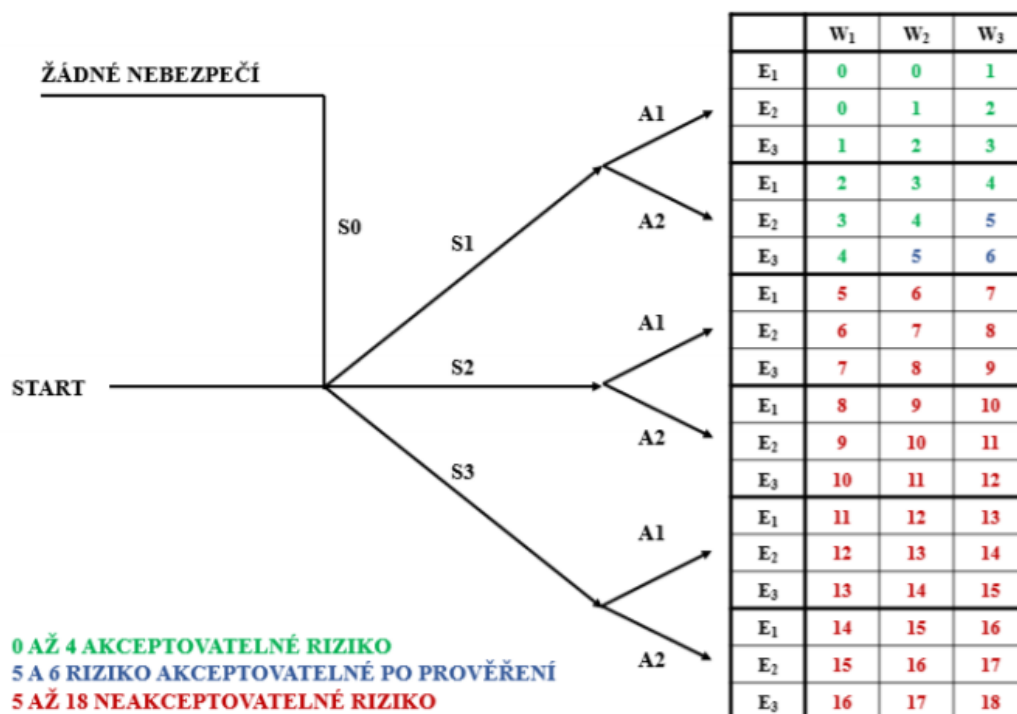
13 ANALÝZA RIZIK

Nedílnou součástí při návrhu konstrukce koncového efektoru pro kolaborativní robot je provedení analýzy rizik. Cílem analýzy rizik je stanovit potenciální rizika navržené konstrukce koncového efektoru a současně nalézt opatření pro snížení pravděpodobnosti nastání zmíněných potenciálních rizik. Tato analýza umožňuje uvedení návrhu koncového efektoru do provozu za současného splnění požadavků kladených na jeho bezpečnost. Na základě výsledků této analýzy je možné posoudit vhodnost jednotlivých zabezpečujících a ochranných prvků použitých v navržené konstrukci koncového efektoru. Tyto výsledky se následně kladně projeví například ochrannou lidského zdraví. Analýza rizik je vypracována v souladu s normou ČSN EN ISO 12100 (katalogové číslo 88295) [64, 65, 66].

13.1 Metodický postup analýzy rizik

První krok spočívá v provedení detailnější analýzy jednotlivých komponent systému. Tento systém je následně naznačen pomocí blokového schématu a blokového diagramu uvádějícího vzájemné interakce jednotlivých komponent systému. Následně je provedena identifikace rizik týkajících se všech částí systému. Poté následuje analýza významných nebezpečí ve vztahu k jednotlivým fázím životního cyklu navrženého koncového efektoru. Uvedené kroky jsou zpracovány přehledem identifikovaných nebezpečí [65, 66].

Po provedení zmíněných částí jsou vypracovány formuláře pro odhad rizik. Do těchto formulářů se uvádí odhady hodnotící závažnost a následky zmíněných rizik. Pro tento odhad se vychází z následujícího grafu [64, 65, 66]:



Obr. 101) Graf pro odhad velikosti rizika [65]

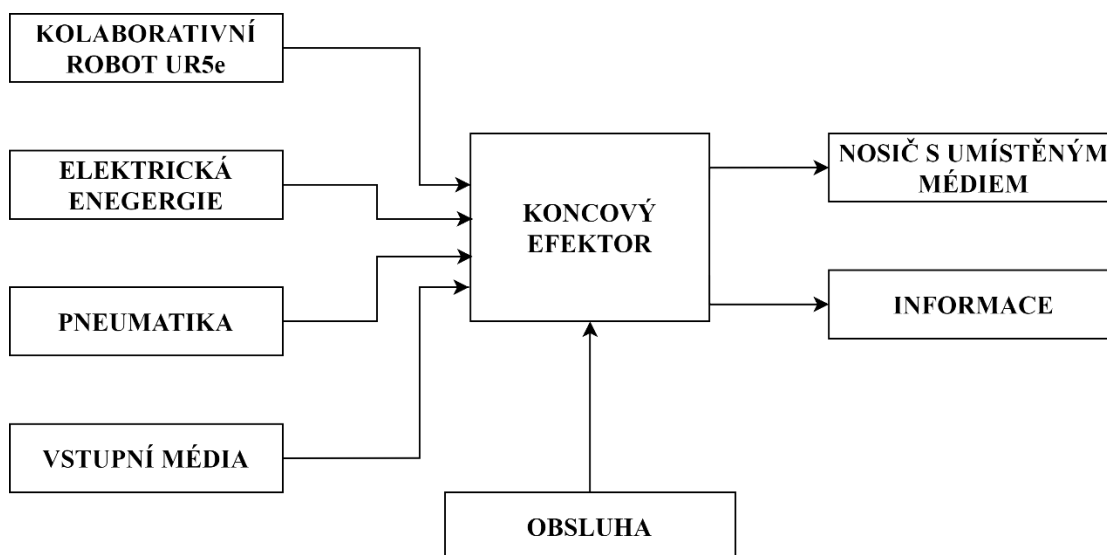
Za pomoci tohoto grafu je možné stanovit velikost rizika. Určení konkrétní hodnoty odhadu a zisku této velikosti se využívají následující aspekty [65, 66]:

- Z – Závažnost a možné škody na zdraví
 - S0 žádné zranění
 - S1 lehké zranění
 - S2 těžké zranění
 - S3 smrt
- V – Četnost a doba ohrožení
 - A1 zřídka až častěji
 - A2 často až trvalé
- M – Možnost vyvarování se nebezpečí
 - E1 možné
 - E2 možné za určitých podmínek
 - E3 sotva možné
- P – Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
 - W1 malá či nepravděpodobná
 - W2 střední
 - W3 velká

Velikosti rizik se pohybují v intervalu od 0 do 18 a současně se rozdělují do třech skupin. První skupina představuje akceptovatelná rizika, kde velikost odhadu nabývá hodnoty 0 až 4 bodů. Druhá skupina představuje rizika akceptovatelná po prověření, kde velikost odhadu nabývá hodnoty 0 až 5 nebo 6 bodů. Třetí skupina představuje rizika neakceptovatelná, kde velikost odhadu nabývá hodnoty 7 až 18 bodů. Pro tuto skupinu je zároveň nutné navrhnout opatření, která vedou ke snížení hodnoty rizika na akceptovatelnou úroveň [65, 66].

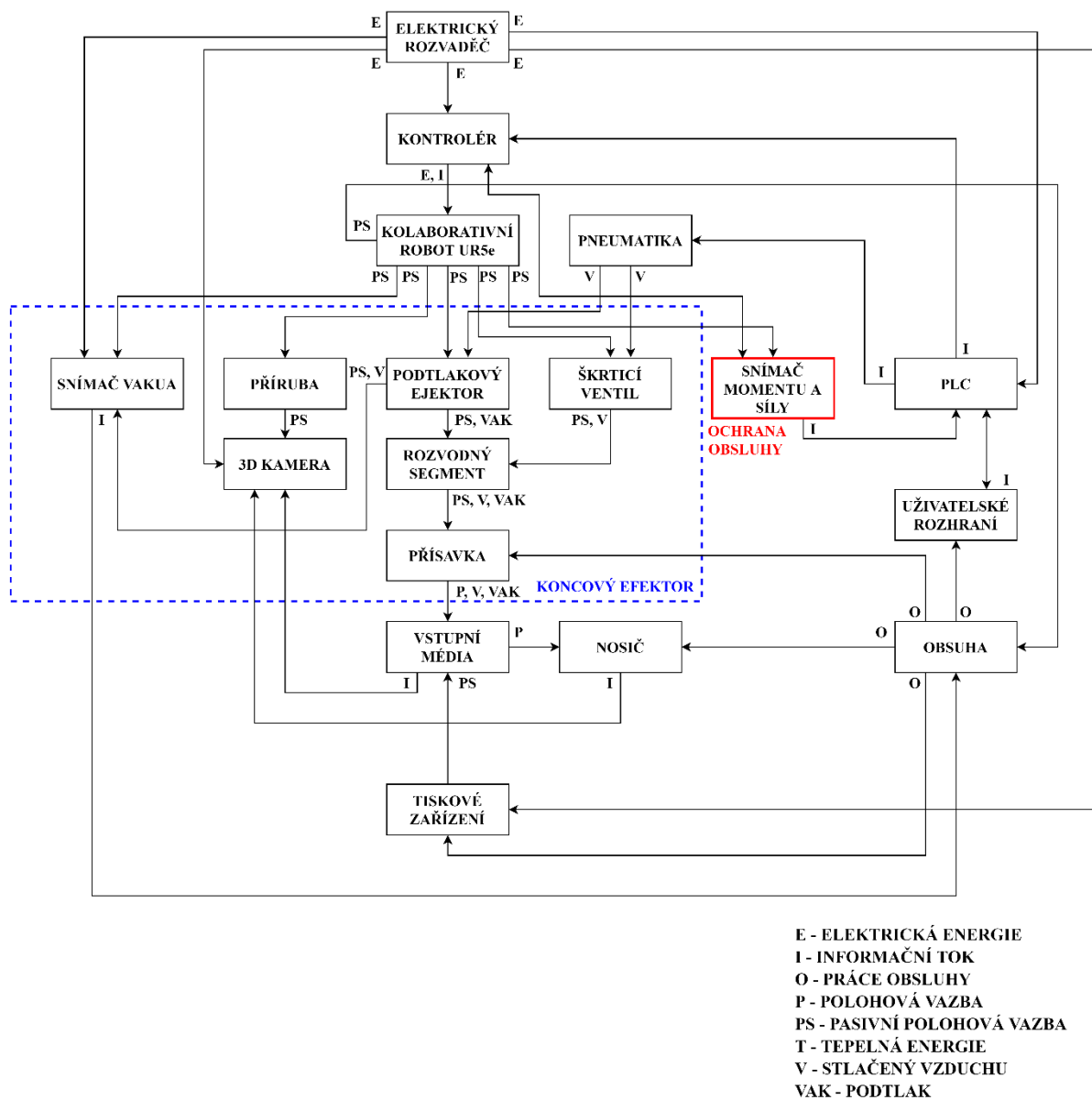
13.2 Analýza systému koncového efektoru

13.2.1 Základní blokový diagram



Obr. 102) Základní blokové schéma koncového efektoru

13.2.2 Blokový diagram



E - ELEKTRICKÁ ENERGIE
 I - INFORMAČNÍ TOK
 O - PRÁCE OBSLUHY
 P - POLOHOVÁ VAZBA
 PS - PASIVNÍ POLOHOVÁ VAZBA
 T - TEPELNÁ ENERGIE
 V - STLAČENÝ VZDUCHU
 VAK - PODTLAK

Obr. 103) Blokový diagram koncového efektoru

13.3 Identifikace relevantních nebezpečí

V tomto kroku jsou uvedeny všechny komponenty nacházející se na koncovém efektoru a dále i komponenty nacházející se na uvažovaném pracovišti. Uvedení komponent vychází z blokového diagramu. U každé komponenty je uveden popis její polohy v systému. Následujícím bodem je přiřazení všech možných nebezpečí k jednotlivým komponentám [64, 65, 66].

Tab 16) Identifikace relevantních nebezpečí

Komponenta	Poloha v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100
Elektrický rozvaděč	okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.5-2,) Elektrická nebezpečí (2.2-1, 2.3-1, 2.3-2) Ergonomická nebezpečí (8.1-1, 8.2-1) Kombinace nebezpečí (10.2)
Kontrolér kolaborativního robotu UR5e	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.2-1, 1.5-2,) Elektrická nebezpečí (2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Kolaborativní robot UR5e	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-1, 1.1-2, 1.3-2, 1.4-1, 1.5-1, 1.5-2, 1.6-1, 1.6-2, 1.6-3) Elektrická nebezpečí (2.1-, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Snímač vakua	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.3-1, 1.3-2, 1.4-1, 1.5-1, 1.6-1, 1.6-2) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Příruba	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.2-1, 1.3-1, 1.3-2, 1.4-1, 1.5-1)
3D kamera	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.3-2, 1.4-1, 1.5-1, 1.6-1, 1.6-2) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)

Podtlakový ejektor	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.3-1, 1.3-2) Nebezpečí hluku (4.1-1, 4.1-2, 4.1-1, 4.2-2)
Přísavka	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.3-2, 1.5-1, 1.5-2, 1.7-1) Ergonomická nebezpečí (8.1-1)
Rozvodný segment	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.2-1, 1.3-1, 1.3-2, 1.5-1, 1.5-2, 1.7-1)
Škrticí ventil	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.3-1)
Pneumatika	pracovní prostor, okolí pracoviště	Mechanická nebezpečí (1.3-1, 1.6-1, 1.6-2, 1.6-3) Nebezpečí hluku (4.1-1, 4.1-2, 4.2-1, 4.2-2, 4.3-1)
Snímač momentu a síly	pracovní prostor, ochrana pracovního prostoru	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.4-1, 1.5-1) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Uživatelské rozhraní (teach pendant aj.)	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.6-1, 1.6-2, 1.6-3) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Vstupní médium	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.2-1)
Tiskové zařízení	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.2-1) Elektrická nebezpečí (2.1-1, 2.2-1, 2.3-1, 2.3-2)
Nosič	pracovní prostor	Mechanická nebezpečí (1.1-2, 1.5-2)

13.4 Analýza významných nebezpečí

V tomto kroku je provedena detailnější analýza významných nebezpečí zaměřená na jednotlivé fáze životního cyklu koncového efektoru. Při provádění této analýzy byl uvažován životní cyklus, který začíná dopravou jednotlivých komponent koncového efektoru, následnou montáží, seřizováním komponent, uvedením koncového efektoru do provozu, provádění údržby, vyhledáváním a opravováním závad a končí vyřazením koncového efektoru z provozu. Pro provedení této analýzy byla opět použita norma ČSN EN ISO 12100 [64, 65, 66].

Tab 17) Analýza významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				Projekt
Během přepravy, montáže a instalace				Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí (dle ČSN ISO 12100)		Popis nebezpečné události
		Stručný popis	ID číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakládání, přeprava, vykládání	stlačení, pořezání, naražení, zakopnutí a pád	1.1-1 1.2-1 1.5-2 1.6-2 1.6-3	Během nakládání, přepravy a vykládání jednotlivých částí zařízení může dojít ke stlačení, pořezání, naražení. Během nakládání a vykládání může dojít k zakopnutí a pádu pracovníka vlivem ztráty stability.
1.2	Balení a rozbalování	stlačení, pořezání	1.1-1 1.2-1	Během balení a rozbalování jednotlivých částí zařízení může dojít ke stlačení, pořezání pracovníka.
2	Montáž a instalace, uvedení do provozu			
2.1	Montáž zařízení (koncového efektoru) na pracovišti	stlačení, pořezání, naražení, zakopnutí a pád, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.5-2 1.6-1 1.6-2 1.6-3 8.2-1 8.2-3 10.1	Během montáže zařízení na pracovišti může dojít ke stlačení (přivření prstů) jednotlivými částmi zařízení, k pořezání se o ostré hrany, naražení, zakopnutí a pádu. Může také dojít k lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
2.2	Upevnění zařízení (koncového efektoru) ke kolaborativnímu robotu	stlačení, pořezání, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 10.1	Během montáže koncového efektoru ke kolaborativnímu robotu může dojít k pořezání a naražení pracovníka. Také může dojít k lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.

2.3	Připojování jednotlivých částí zařízení k dodávce energie (elektrické energii a stlačenému vzduchu)	vystříknutí, požár, popálení, zasažení el. proudem, nepohodlí, lidské chyby kombinace nebezpečí	1.7-1 2.1-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 8.2-1 10.1 10.2	Během připojování jednotlivých pneumatických částí zařízení může dojít k vystříknutí stlačeného vzduchu, nepohodlí (vlivem pískajících pneumatických zařízení) a lidské chybě. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru, zasažení el. proudem. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
3 Seřizování, učení/programování				
3.1	Programování kolaborativního robotu (online)	stlačení, naražení, zasažení el. proudem, požár, lidský chyba, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.5-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 8.2-3 10.2	Během programování kolaborativního robotu pro zadanou činnost může dojít ke stlačení a naražení obsluhy. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Dále může dojít k zasažení el proudem a lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
3.2	Seřizování bezpečnostního senzoru síly a momentu	stlačení, naražení, zachycení, lidský chyba, zasažení el. proudem, požár, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.4-1 1.5-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 8.2-3 10.2	Během seřizování bezpečnostního senzoru síly a momentu, může dojít ke stlačení, zachycení a naražení obsluhy. Může dojít k lidské chybě a zasažení el. proudem. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například během seřizování dojde lidskou chybou ke špatnému nastavení hodnot, a dále i během samotného seřizování může následně dojít k naražení či stlačení obsluhy.

3.3	Funkční zkouška zařízení	stlačení, zachycení, naražení, zakopnutí a pád, vymrštění, zasažení el. proudem, požár, nepohodlí, hučení v uších, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.3-1 1.3.2 1.4-1 1.5-1 1.6-1 1.6-3 1.7-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 8.2-3 10.1 10.2	Během provádění funkční zkoušky zařízení, může dojít k zakopnutí o kabeláž a pádu. Může také dojít ke stlačení, zachycení, vymrštění pneumatických hadic, vystříknutí stlačeného vzduchu, nepohodlí, hučení v uších a lidské chybě a zasažení el proudem. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a obsluha může být během provádění zkoušek zasažena vymrštěnou pneumatickou hadicí.
3.4	Seřizování 3D kamery a snímače vakua	zakopnutí a pád, vymrštění, zasažení el. proudem, požár lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.3-1 1.3-2 1.6-1 1.6-3 2.2-1 2.3-1 2.3-2 8.2-3 10.2	Během seřizování 3D kamery a snímače vakua, může dojít k zakopnutí o kabeláž a pádu. Může také dojít k vymrštění pneumatických hadic, lidské chybě a zasažení el proudem. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a obsluha může být během seřizování snímače vakua zasažena vymrštěnou pneumatickou hadicí.
3.5	Seřizování a ověřování funkčních parametrů zařízení (polohování, rychlost, velikost podtlaku)	naražení, stlačení, zakopnutí a pád, vymrštění, nepohodlí, hučení v uších, stres, zasažení el. proudem, požár, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.3-1 1.3-2 1.5-1 1.6-1 1.6-3 1.7-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-3 10.2	Během seřizování a ověřování funkčních parametrů může dojít k naražení, stlačení. Může také dojít k zakopnutí (o kabeláž) a pádu, vymrštění pneumatických hadic, vystříknutí stlačeného vzduchu, nepohodlí, hučení v uších, stresu, zasažení el. proudem, lidské chybě a požáru zapříčiněným chybnou elektroinstalací. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a obsluha může během ověřování být zasažena vymrštěnou pneumatickou hadicí.

4 Provoz				
4.1	Provoz koncového efektoru (provádění pracovní rutiny)	naražení, stlačení, vymrštění, zakopnutí a pád, požár, nepohodlí, lidská chyba,	1.1-2 1.3-2 1.5-1 1.6-3 2.2-1 4.1-1 4.2-1 8.2-2	Během provozu koncového efektoru může dojít k naražení, vymrštění stlačení, zakopnutí a pádu, požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací. Může dojít k nepohodlí (vlivem pískajících zařízení pneumatiky), lidské chybě.
4.2	Druhořadé nastavování a seřizování funkčních parametrů stroje – změna pracovního profilu koncového efektoru (změna polohování, velikosti pottlaku)	požár, vymrštění, nepohodlí, stres, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.3-2 2.2-1 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-3	Během změny pracovního profilu koncového efektoru může dojít k vymrštění, stresu, požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací. Může dojít k nepohodlí (vlivem pískajících zařízení pneumatiky), lidské chybě.
4.3	Zakládání nového polotovaru do tiskového zařízení	požár, pořezání, zakopnutí a pád, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.2-1 1.6-3 2.2-1 8.2-2 10.1	Během zakládání nového polotovaru do tiskového zařízení může dojít k požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací. Může dojít k lidské chybě, zakopnutí a pádu a pořezání obsluhy. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
4.4	Opětne spuštění zařízení po zastavení	naražení, stlačení, vymrštění, požár, nepohodlí, lidská chyba,	1.1-2 1.4-1 1.5-1 2.2-1 4.1-1 4.2-1 8.2-2	Během opětného spuštění zařízení po zastavení může dojít k naražení, stlačení, vymrštění a požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací. Může dojít k nepohodlí (vlivem pískajících zařízení pneumatiky), lidské chybě.

4.5	Dozor	požár, nepohodlí, vymrštění, lidská chyba,	2.2-1 4.1-1 4.2-1 8.2-2 8.2-3	Během dozoru může dojít k požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací. Může dojít k nepohodlí (vlivem pískajících zařízení pneumatiky), vymrštění a lidské chybě.
5 Čištění a údržba				
5.1	Změna konfigurace sacích otvorů	stlačení, naražení, vymrštění, zakopnutí a pád, lidská chyba, nepohodlí, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.3-2 1.5-2 1.6-3 8.1-1 8.2-1 8.2-3 10.1	Během změny konfigurace sacích otvorů může dojít ke stlačení, naražení, vymrštění, nepohodlí (vlivem dlouhodobého šroubování při hledání správné konfigurace), zakopnutí a pádu a lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například během změny konfigurace sacích otvorů může být vlivem lidské chyby pracovník koncovým efektozem naražen či stlačen.
5.2	Výměna opotřebovaných částí (např. teflonové přísavky, ucpávacích šroubů, podložek atd.)	stlačení, naražení, vymrštění, vystříknutí, zakopnutí a pád, lidská chyba, nepohodlí, zasažení el. proudem, popálení, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.3-1 1.3-2 1.5-2 1.6-1 1.6-3 1.7-1 2.1-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-1 8.2-3 10.1 10.2	Během výměny opotřebovaných částí může dojít ke stlačení, naražení, vymrštění, vystříknutí stlačeného vzduchu, zakopnutí a pádu. Také může dojít k lidské chybě, nepohodlí a zasažení el. proudem a popálení. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.

5.3	Demontáž součástí zařízení	stlačení, naražení, vymrštění, vystříknutí, zakopnutí a pád, lidská chyba, nepohodlí, zasažení el. proudem, popálení, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.3-1 1.3-2 1.5-2 1.6-1 1.6-3 1.7-1 2.1-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-1 8.2-3 10.1 10.2	Během výměny opotřebovaných částí může dojít ke stlačení, naražení, vymrštění, vystříknutí stlačeného vzduchu, zakopnutí a pádu. Také může dojít k lidské chybě, zasažení el. proudem, popálení a nepohodlí. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
5.4	Opětné seřízení	naražení, stlačení, zakopnutí a pád, vymrštění, nepohodlí, hučení v uších zasažení el. proudem, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.3-1 1.3-2 1.5-1 1.6-1 1.6-3 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-3 10.1 10.2	Během opětného seřízení může dojít k naražení, stlačení obsluhy. Může také dojít k zakopnutí (o kabeláž) a pádu, vymrštění pneumatických hadic, zasažení el. proudem, hučení v uších, nepohodlí a lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a pracovník může během opětného seřízení být zasažen vymrštěnou pneumatickou hadicí.

6 Vyhledávání závady / odstraňování závady				
6.1	Vyhledávání závady	naražení, stlačení, pořezání, popálení, požár, zakopnutí a pád, vymrštění, vystříknutí, zasažení el. proudem, nepohodlí, stres hučení v uších lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.3-1 1.3-2 1.5-1 1.5-2 1.6-1 1.6-3 1.7-1 2.1-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.2-3 10.1 10.2	Během vyhledávání závady může dojít k naražení, stlačení a pořezání obsluhy. Může také dojít k zakopnutí (o kabeláž) a pádu, vymrštění pneumatických hadic, vystříknutí stlačeného vzduchu, zasažení el. proudem, popálení, nepohodlí, hučení v uších, stresu a lidské chybě. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a pracovník může být během vyhledávání závady zasažen vymrštěnou pneumatickou hadicí.
6.2	Opravování závady	naražení, stlačení, pořezání zakopnutí a pád, vymrštění, vystříknutí, lidská chyba, zasažení el. proudem, popálení, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.3-1 1.5-2 1.6-1 1.6-2 1.6-3 1.7-1 2.1-1 2.2-1 2.3-1 2.3-2 8.1-1 8.2-1 8.2-3 10.1 10.2	Během opravování závady může dojít k naražení, stlačení a pořezání obsluhy. Může také dojít k zakopnutí (o kabeláž) a pádu, vymrštění pneumatických hadic, vystříknutí stlačeného vzduchu, zasažení el. proudem, popálení a lidské chybě. Při zapojování elektrických částí do el. sítě hrozí vznik požáru. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice, která může následně zasáhnout obsluhu vymrštěním při opětovném uvedení do provozu.

6.3	Opětné seřízení	naražení, stlačení, zakopnutí a pád, vymrštění, nepohodlí, hučení v uších, požár, zasažení el. proudem, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-2 1.3-1 1.3-2 1.5-1 1.6-1 1.6-3 2.2-1 2.3-1 2.3-2 4.1-1 4.2-1 4.3-1 8.1-1 8.2-3 10.1 10.2	Během opětovného seřízení může dojít k naražení, stlačení obsluhy. Může také dojít k zakopnutí (o kabeláž) a pádu, vymrštění pneumatických hadic, zasažení el. proudem, hučení v uších, nepohodlí, požáru zapříčiněnému chybnou elektroinstalací a lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat, takže například může dojít vlivem lidské chyby ke špatnému upnutí pneumatické hadice a pracovník může během opětovného seřízení být zasažen vymrštěnou pneumatickou hadicí.
7	Vyřazení z provozu / demontáž			
7.1	Odpojení jednotlivých částí zařízení od dodávky el. energie	zasažení el. proudem, popálení, pořezání, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.2-1 2.1-1 2.3-1 2.3-2 8.2-3 10.2	Během odpojování jednotlivých elektrických částí zařízení od zdroje el. energie může dojít k zasažení el. proudem, pořezání a lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
7.2	Odpojení jednotlivých pneumatických částí zařízení od dodávky stlačeného vzduchu	vymrštění, pořezání, vystříknutí	1.2-1 1.3-1 1.7-1	Během odpojování jednotlivých pneumatických částí zařízení od dodávky stlačeného vzduchu může dojít k vymrštění pneumatické hadice, vystříknutí stlačeného vzduchu a pořezání.
7.3	Demontáž jednotlivých částí zařízení	stlačení, pořezání, naražení, zakopnutí a pád, lidská chyba, kombinace nebezpečí	1.1-1 1.2-1 1.5-2 1.6-1 1.6-2 1.6-3 8.1-1 8.2-1 8.2-3 10.1	Během demontáže jednotlivých částí zařízení na pracovišti může dojít ke stlačení (přivření prstů) jednotlivými částmi zařízení, k pořezání se o ostré hrany, naražení, zakopnutí a pádu. Může také dojít k lidské chybě. Jednotlivá rizika se mohou také zkombinovat.
7.4	Balení	stlačení, pořezání	1.1-1 1.2-1	Během balení jednotlivých částí zařízení může dojít ke stlačení, pořezání pracovníka.

13.5 Přehled závažných identifikovaných nebezpečí

Pro určení konkrétních hodnot vyjadřujících závažnost nebezpečí je vhodné stanovit přehled identifikovatelných závažných nebezpečí. Tento přehled je možné provést například do tabulky (viz níže). Jednotlivé hodnoty vychází z grafu pro odhad velikosti rizika (viz obrázek 101). Nebezpečí, která se projeví jako nepřijatelná budou v dalším kroku snížena pomocí formulářů pro snížení rizika, kde jsou zároveň i stanoveny jednotlivá opatření pro snížení jejich závažnosti [64, 65, 66].

Tab 18) Přehled závažných identifikovatelných nebezpečí

Přehled identifikovaných závažných nebezpečí						
		Z	V	M	P	Σ
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Nebezpečí stlačení při manipulaci s jednotlivými částmi zařízení	S1	A1	E2	W2	1
1.1-2	Nebezpečí stlačení při pohybu zařízení či jednotlivých částí zařízení	S2	A2	E2	W2	10
1.2	Nebezpečí pořezání					
1.2-1	Nebezpečí pořezání se o ostré hrany při manipulaci s jednotlivými částmi zařízení či vstupními polotovary / médii	S1	A1	E3	W3	3
1.3	Nebezpečí vymrštění					
1.3-1	Nebezpečí vymrštění pneumatické hadice	S2	A1	E2	W2	7
1.3-2	Nebezpečí vymrštění zařízení nebo její části	S3	A2	E2	W2	16
1.4	Nebezpečí zachycení					
1.4-1	Nebezpečí zachycení jednotlivými částmi zařízení během jejich pohybu v pracovním prostoru	S2	A1	E2	W2	7
1.5	Nebezpečí naražení					
1.5-1	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během jejich pohybu v pracovním prostoru	S3	A2	E3	W3	18
1.5-2	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během manipulace s nimi	S2	A1	E1	W2	6
1.6	Nebezpečí zakopnutí a pád					
1.6-1	Nebezpečí zakopnutí o část zařízení na pracovišti	S1	A2	E2	W2	4
1.6-2	Nebezpečí pádu v důsledku ztráty stability	S2	A1	E3	W1	7
1.6-3	Nebezpečí pádu v důsledku uklouznutí na drobné součásti	S2	A1	E1	W1	5
1.7	Nebezpečí vystříknutí					
1.7-1	Nebezpečí vystříknutí stlačeného vzduchu	S2	A1	E1	W1	5
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí popálení					
2.1-1	Nebezpečí popálení vadnými elektrickými součástkami	S2	A1	E3	W1	7
2.2	Nebezpečí požáru					

2.2-1	Nebezpečí vzniku požáru na pracovišti v rámci elektroinstalace	S3	A2	E3	W1	16
2.3	Nebezpečí zasažením elektrickým proudem					
2.3-1	Nebezpečí zasažení el. proudem při dotyku živých částí	S3	A2	E3	W2	17
2.3-2	Nebezpečí zasažení el. proudem při dotyku částí, které se staly živými při závadě	S3	A2	E3	W2	17
4	Nebezpečí hluku					
4.1	Nebezpečí nepohodlí					
4.1-1	Nebezpečí nepohodlí vlivem pískajících pneumatických zařízení	S1	A2	E1	W1	2
4.2	Nebezpečí hučení v uších					
4.2-1	Nebezpečí hučení v uších vlivem pískajících pneumatických zařízení	S1	A2	E1	W1	2
4.3	Nebezpečí stresu					
4.3-1	Nebezpečí stresu vlivem práce v hlučném prostředí	S1	A1	E1	W1	0
8	Ergonomická nebezpečí					
8.1	Nebezpečí nepohodlí					
8.1-1	Nebezpečí nepohodlí způsobené zdlouhavou a opakovanou činností během montáže/demontáže/seřizování částí zařízení	S1	A2	E2	W2	4
8.2	Nebezpečí lidské chyby					
8.2-1	Nebezpečí lidské chyby během montáže/demontáže zařízení nebo jeho částí	S1	A2	E2	W2	4
8.2-2	Nebezpečí lidské chyby při provozu jednotlivých částí zařízení	S1	A2	E2	W2	4
8.2-3	Nebezpečí lidské chyby při dlouhodobém vykonávání opakované činnosti	S1	A2	E2	W2	4
10	Kombinace nebezpečí					
10.1	Nebezpečí kombinace nepozornosti obsluhy a manipulace s jednotlivými částmi zařízení či vstupními polotovary / médii	S1	A2	E1	W1	2
10.2	Nebezpečí kombinace lidské chyby (např. nepozornost) a dotyku živé části (působením el. proudu)	S3	A1	E2	W1	12

13.6 Formuláře pro snížení rizik

Jak už bylo zmíněno, v tomto posledním kroku budou nepřijatelná nebezpečí snížena pomocí vhodných opatření. Jednotlivá opatření se následně projeví snížením hodnoty nebezpečí. Pro jednotlivá nebezpečí jsou opatření stanovena iteračně, dokud není jejich hodnota přijatelná. Jednotlivá opatření spočívají například v úpravách pracovního postupu pracovníků, přidáním bezpečnostních prvků, úpravou provozních podmínek kolaborativního robotu, koncového efektoru a jeho částí atd. [64, 65, 66].

Tab 19) Formulář pro snížení rizik

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí	
1.1-2	1	Nebezpečí stlačení při pohybu zařízení či jednotlivých částí zařízení	
Životní etapa zařízení	seřizování, učení/programování, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady	Nebezpečný prostor: pracovní prostor	
Ohrožené osoby	obsluha pracoviště, pracovník logistiky, pracovník údržby, programátor, pracovník montáže, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí stlačení při pohybu zařízení či jednotlivých částí zařízení během seřizování, učení/programování, provozu, čištění a údržby, vyhledávání závady/odstraňování závady. Hrozí poranění končetin.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	10
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 1	Omezení rychlosti kolaborativního robotu		
Popis opatření	Snížení rychlosti kolaborativního robotu umožní obsluhu se vyhnout s dostatečným předstihem kolaborativnímu robotu. Tuto hodnotu lze stanovit podle ISO/TS 15066.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvalé	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	2
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Nastavení mezní hodnoty senzoru síly a momentu na kolaborativním robotu		
Popis opatření	Nastavení vhodné mezní hodnoty síly a momentu na senzoru podle ISO/TS 15066 (kolaborativního robotu), kterou nesmí robot překročit při svém provozu. Stanovená hodnota nesmí způsobit obsluhu žádnou bolest. Při dosažení stanovené mezní hodnoty síly a momentu se robot okamžitě zastaví a nezpůsobí tak žádná poranění.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	0
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí	
1.3-1	2	Nebezpečí vymrštění pneumatické hadice	
Životní etapa zařízení	seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník údržby, programátor, pracovník montáže, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí vymrštění pneumatické hadice během seřizování, učení/programování, čištění a údržby, vyhledávání závady/odstraňování závady a vyřazení z provozu/demontáže. Hrozí škrábnutí až vážné poranění očí.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – smrt	Velikost rizika 7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 1	Použití ochranných pomůcek – ochranné brýle		
Popis opatření	Během práce s jakoukoliv částí pneumatiky je pracovník povinen nosit ochranné brýle. Jejich nošením se výrazně sníží riziko vážného poranění očí v důsledku vymrštění hadice.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Zařazení bezpečnostního ventilu za jednotku úpravy stlačeného vzduchu		
Popis opatření	Použitím bezpečnostního 2/2 rozvodného mechanického ventilu pro hrazení průtoku, který je v klidové poloze uzavřen, k přestavování jeho poloh je za pomoci šoupátka.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Krok 3			
Popis opatření	-		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika -
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí	
1.3-2	3	Nebezpečí vymrštění zařízení nebo její částí	
Životní etapa zařízení	seřizování, učení/programování, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	obsluha pracoviště, pracovník logistiky, pracovník údržby, programátor, pracovník montáže, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí vymrštění zařízení nebo její částí během seřizování, učení/programování, provozu, čištění a údržby, vyhledávání závady/odstraňování závady. Hrozí poranění končetin, otřes mozku až smrt.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 16
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 1	Omezení rychlosti kolaborativního robotu		
Popis opatření	Snížením rychlosti kolaborativního robotu se sníží kinetická energie zařízení a tím i jejich součástí. Tímto způsobem se sníží riziku vymrštění koncového efektoru a jeho částí.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Použití doplňkových prostředků		
Popis opatření	Vyjmutí provozního klíče z kontroléru dojde k okamžitému zastavení kolaborativního robotu. Po vyjmutí klíče bude vyžadováno bezpečnostní heslo pro opětovné uvedení robotu do provozu. Umístění STOP tlačítka na dostupné místo.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 3			
Popis opatření	-		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika -
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot	
			Datum: 19.03.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí		
1.4-1	4	Nebezpečí zachycení		
Životní etapa zařízení	seřizování, učení/programování,	Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby	pracovník údržby, programátor, pracovník montáže, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz		
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí zachycení během seřizování a učení/programování. Hrozí poranění končetin či pád robotu na pracovníka.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední		
Krok 1	Úprava pracovního postupu pracovníka montáže			
Popis opatření	Během upínání koncového efektoru na přírubu kolaborativního robotu musí být robot odpojen od zdroje el. energie. Totéž platí pro dodatečná seřizování jednotlivých částí koncového efektoru v okamžiku, kdy už je upnut na přírubu robotu. V okamžiku, kdy je kolaborativní robot odpojen o zdroje el. energie nehrozí jeho nečekaný pohyb.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 2	Použití pracovních oděvů, které nemají límec.			
Popis opatření	Během seřizování, učení/programování jsou pracovníci v okolí kolaborativního robotu povinni nosit horní část oděvu bez límce, za který by se mohli k jakékoliv části koncového efektoru zachytit.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 3	Úprava pracovního postupu programátora.			
Popis opatření	Prvním bodem pracovního postupu programátora během prvotního seřizování bude seřadit senzor síly a momentu.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020	

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí	
1.5-1	5	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během jejich pohybu v pracovním prostoru	
Životní etapa zařízení	seřizování, učení/programování, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady,	Nebezpečný prostor: pracovní prostor	
Ohrožené osoby	obsluha pracoviště, pracovník logistiky, pracovník údržby, technik robotů, programátor, pracovník montáže	Provozní stav pracoviště: provoz, mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během jejich pohybu v pracovním prostoru při seřizování, učení/programování, provozu, čištění a údržby, vyhledávání závady/odstraňování závady. Hrozí poranění končetin, otřes mozku až smrt.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 18
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvalé	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W3 – velká	
Krok 1	Omezení rychlosti kolaborativního robotu		
Popis opatření	Snížení rychlosti kolaborativního robotu je doprovázeno snížením kinetické energie jednotlivých částí koncového efektoru, což se projeví menším účinkem nárazu. Tuto hodnotu lze stanovit podle ISO/TS 15066.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 2
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Nastavení mezní hodnoty senzoru síly a momentu na kolaborativním robotu		
Popis opatření	Nastavení vhodné mezní hodnoty síly a momentu na senzoru podle ISO/TS 15066 (kolaborativního robotu), kterou nesmí robot překročit při svém provozu. Stanovená hodnota nesmí způsobit obsluze žádnou bolest. Při dosažení stanovené mezní hodnoty síly a momentu se robot okamžitě zastaví a nezpůsobí tak žádná poranění.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Krok 3	Použití doplňkových prostředků		
Popis opatření	Vyjmutí provozního klíče z kontroléru dojde k okamžitému zastavení kolaborativního robotu. Po vyjmutí klíče bude vyžadováno bezpečnostní heslo pro opětovné uvedení robotu do provozu. Umístění STOP tlačítka na dostupné místo.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí	
1.5-2	6	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během manipulace s nimi	
Životní etapa zařízení	doprava, montáž a instalace, uvedení do provozu, seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor, pracovník logistiky, obsluha pracoviště, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí naražení jednotlivých částí zařízení během manipulace s nimi při dopravě, montáži a instalaci, uvedení do provozu, seřizování, učení/programování, čištění a údržby, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáží. Hrozí poranění končetin až otřes mozku.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	6
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 1	Použití osobních ochranných pomůcek		
Popis opatření	Při manipulaci s jednotlivými částmi zařízení používat ochranné pracovní pomůcky (pracovní oděv, pracovní obuv)		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	0
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2			
Popis opatření			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	0
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Krok 3			
Popis opatření			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	0
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot	
			Datum: 19.03.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí		
1.6-2	7	Nebezpečí pádu v důsledku ztráty stability		
Životní etapa zařízení	doprava, montáž a instalace, uvedení do provozu, závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž		Nebezpečný prostor: pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, pracovník logistiky, obsluha pracoviště, technik robotů		Provozní stav pracoviště: mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí pádu v důsledku ztráty stability, hrozí úraz končetin a otřes mozku.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 1	Použití doplňkových pomůcek			
Popis opatření	Při manipulaci s jednotlivými částmi zařízení a během jejich instalace používat pomůcky sloužící ke stabilnímu uložení a přepravě během manipulace. Během manuální přepravy dbát zvýšený pozor na chůzi.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – lehké zranění	Velikost rizika	6
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 2	Použití osobních ochranných pomůcek			
Popis opatření	Při manipulaci s jednotlivými částmi zařízení používat ochranné pracovní pomůcky (pracovní oděv, pracovní obuv)			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 3				
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika	-
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Validace:	Opatření jsou dostatečná		Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot	
			Datum: 19.03.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí		
1.6-3	8	Nebezpečí pádu v důsledku uklouznutí na drobné součásti		
Životní etapa zařízení	doprava, montáž a instalace, uvedení do provozu, seřizování, učení/programování, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, pracovník logistiky, obsluha pracoviště, programátor, obsluha pracoviště, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz		
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí pádu v důsledku uklouznutí na drobné součásti, hrozí úraz končetin a otřes mozku.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 1	Dbát na odkládání jednotlivých částí zařízení, nástrojů a pomůcek			
Popis opatření	V případě nepřítomnosti pracovníka na pracovišti je jeho povinností uklidit si po sobě jednotlivé pracovník pomůcky a nástroje. Rozdělanou práci (sestavování zařízení) odkládá na pracovní stůl, a to i včetně pracovních nástrojů a pomůcek.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 2	Verbální upozornění kolemjdoucích osob			
Popis opatření	Slovní upozornění kolemjdoucích osob pracovníkem vykonávajícího montáž zařízení minimalizuje riziko pádu v důsledku uklouznutí na drobné součásti.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Krok 3	Úklid všech pracovních pomůcek a nástrojů po ukončení činnosti na pracovišti.			
Popis opatření	Formou proškolení pracovníků sdělit o úklidu svých pracovních pomůcek a nástrojů po ukončení přidělené činnosti.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020	

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot	
			Datum: 19.03.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečí		
1.7-1	9	Nebezpečí vystříknutí stlačeného vzduchu		
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, uvedení do provozu, seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž		Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor, obsluha pracoviště, technik robotů		Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí vystříknutí stlačeného vzduchu, hrozí poranění očí.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 1	Použití ochranných pomůcek – ochranné brýle			
Popis opatření	Během práce s jakoukoliv částí pneumatiky je pracovník povinen nosit ochranné brýle. Jejich nošením se výrazně sníží riziko vážného poranění očí v důsledku vystříknutí stlačeného vzduchu.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S0 – žádné zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Krok 2				
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika	-
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Krok 3				
Popis opatření	-			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika	-
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-		
Validace:	Opatření jsou dostatečná		Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí	
2.1-1	10	Nebezpečí popálení vadnými elektrickými součástkami	
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor	Provozní stav pracoviště: mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí popálení vadnými elektrickými součástkami, hrozí popáleniny horních končetin.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 1	Použití ochranných pomůcek – ochranné dielektrické rukavice		
Popis opatření	V případě zjevné závady elektrické části zařízení je pracovník povinen použít ochranné dielektrické rukavice s dielektrikem. V případě, že není na elektrické části zařízení zjevná vada je pracovníkovi doporučeno použít ochranné dielektrické rukavice.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – žádné zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Vyvěšení cedule s doporučením		
Popis opatření	Vyvěšení cedule na viditelné místo a poblíž el. zařízení s nápisem: „Používej ochranné pomůcky.“		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 3			
Popis opatření	-		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	-	Velikost rizika -
	Četnost a doba trvání ohrožení:	-	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	-	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	-	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí	
2.2-1	11	Nebezpečí vzniku požáru na pracovišti v rámci elektroinstalace	
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, seřizování, učení/programování, provoz, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady		Nebezpečný prostor: pracovní prostor
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor		Provozní stav pracoviště: mimo provoz
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí vzniku požáru na pracovišti v rámci elektroinstalace s následkem popálenin či smrti.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 16
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 1	Použití doplňkových prostředků		
Popis opatření	Použití jisticích prvků v elektroinstalaci. Všechna použitá elektrická zařízení musí být certifikovaná.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 12
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření		
Popis opatření	Použití bezpečnostního protipožárního systému na pracovišti včetně senzorů aj.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 3	Školení pracovníků		
Popis opatření	Pravidelné proškolení všech pracovníků ohledně požární ochrany a chování v případě požáru.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot	
			Datum: 19.03.2020	
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí		
2.3-1	12	Nebezpečí zasažení el. proudem při dotyku živé části		
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor		
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz		
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí zasažení el. proudem při dotyku živé části během zapojování do el. sítě, hrozí úraz či smrt.			
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika	17
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední		
Krok 1	Použití doplňkových prostředků			
Popis opatření	Zajištění splnění předepsané aktuálně platné normy ČSN EN 60204-1:2007 všech el. zařízení výrobcem. Používat pouze certifikovaná el. zařízení.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední		
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření			
Popis opatření	Použití bezpečnostních krytů zamezujících přístup do el. částí zařízení.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika	5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Krok 3	Informace pro používání			
Popis opatření	Štítek umístěný na stroji s upozorněním na nebezpečí vzniku možného úrazu el. proudem. Upozornění v návodu k použití: „Práce s elektrickým zařízením smí provádět pouze osoby s požadovaným elektrotechnickou kvalifikací.“			
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika	0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná		
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020	

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 2. Elektrická nebezpečí	
2.3-2	13	Nebezpečí zasažení el. proudem při dotyku částí, které se staly živými při závadě	
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor, technik robotů	Provozní stav pracoviště: mimo provoz, provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Během manipulace s el. sítí v její blízkosti hrozí nebezpečí zasažení el. proudem způsobené poruchou, hrozí úraz či smrt.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 17
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – sotva možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 1	Použití doplňkových prostředků		
Popis opatření	Zajištění splnění předepsané aktuálně platné normy ČSN EN 60204-1:2007 všech el. zařízení výrobcem. Používat pouze certifikovaná el. zařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – střední	
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření		
Popis opatření	Použití bezpečnostních krytů zamezujících přístup do el. částí zařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 3	Informace pro používání		
Popis opatření	Štítek umístěný na stroji s upozorněním na nebezpečí vzniku možného úrazu el. proudem. Upozornění v návodu k použití: „Práce s elektrickým zařízením smí provádět pouze osoby s požadovaným elektrotechnickou kvalifikací.“		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

VUT FSI ÚVSSR	FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Ismael Taoufik		Návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot
			Datum: 19.03.2020
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100 10. Kombinace nebezpečí	
10.2	14	Nebezpečí kombinace lidské chyby (např. nepozornost) a dotyku živé části (působením el. proudu)	
Životní etapa zařízení	montáž a instalace, seřizování, učení/programování, čištění a údržba, vyhledávání závady/odstraňování závady, vyřazení z provozu/demontáž	Nebezpečný prostor: pracovní prostor, mimo pracovní prostor	
Ohrožené osoby	pracovník montáže, pracovník údržby, programátor, technik robotů	Provozní stav pracoviště: provoz, mimo provoz	
Popis nebezpečné situace/události	Nebezpečí kombinace lidské chyby (např. nepozornost) a dotyku živé části (působením el. proudu) hrozí až smrt pracovníka.		
Počáteční riziko	Závažnost a možné škody na zdraví:	S3 – smrt	Velikost rizika 12
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 1	Použití doplňkových prostředků		
Popis opatření	Zajištění splnění předepsané aktuálně platné normy ČSN EN 60204-1:2007 všech el. zařízení výrobcem. Používat pouze certifikovaná el. zařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 6
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – možné za určitých podm.	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 2	Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření		
Popis opatření	Použití bezpečnostních krytů zamezujících přístup do el. částí zařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S2 – těžké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Krok 3	Informace pro používání		
Popis opatření	Proškolení pracovníků zacházejících s elektroinstalací a provedení závěrečných zkoušek podle příslušného stupně elektrotechnické kvalifikace. Umístit piktogramy na elektrická zařízení.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost a možné škody na zdraví:	S1 – lehké zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až často	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – malá či nepravděpodobná	
Validace:	Opatření jsou dostatečná	Bc. Ismael Taoufik	19.03.2020

14 STANOVENÍ CENY PROTOTYPU KONCOVÉHO EFEKTORU

Ekonomické zhodnocení koncového efektoru je rozděleno do dvou tabulek. V první tabulce jsou uvedeny ceny nakupovaných dílů, ve druhé tabulce jsou uvedeny ceny vyráběných dílů. Částky nakupovaných dílů jsou stanoveny na základě katalogových cen a nabídek dodavatelů. Částky vyráběných dílů jsou stanoveny odhadem (uvažuje se cena za polotovár a cena za obrobění všech součástí je uvedena zvlášť v závěru tabulky). Pro převod ceny uvedené v eurech na české koruny je použitý kurz ke dni 20.3.2020, který činí 27,6 CZK/EUR. Pro převod ceny uvedené v amerických dolarech na české koruny je použitý kurz ke dni 20.3.2020, který činí 25,6 CZK/USD. Uvedené ceny jsou orientační.

Tab 20) Odhad ceny nakupovaných dílů [67, 68, 69, 70, 71]

Poz.	Název	Označení/Výkres	Dodavatel	Poč. ks.	Cena/ks.	Cena celkem
6	Těsnící guma	239005 4x4 NBR	GUFERO	1	15 Kč	15 Kč
7	Podtlakový ejektor	ZH07BSA-06-06	SMC	1	650 Kč	650 Kč
8	Škrticí ventil	AS1002F-06A	SMC	1	330 Kč	330 Kč
9	T-spojka	KGT06-00	SMC	1	575 Kč	575 Kč
10	Snímač vakua	ZSE30A-C6H-P-A2(0)	SMC	1	2 020 Kč	2 020 Kč
11	Nástrčná spojka	KQ2U06-M5A	SMC	1	125 Kč	125 Kč
12	3D kamera	WRIST CAMERA	ROBOTIQ	1	138 000 Kč	138 000 Kč
20	Sada gumových podložek	M2,5	MUSCCCM	1	305 Kč	305 Kč
	Elektromagnetický ventil	VX214CG	SMC	2	1 245 Kč	2 490 Kč
	Jednotka úpravy stlačeného vzduchu	AC20C-A	SMC	1	2 670 Kč	2 670 Kč
	Nylonová hadice	TS0604BU-20	SMC	1	585 Kč	585 Kč
	Kompresor	LZ7/10	Atlas Copco	1	250 000 Kč	250 000 Kč

Cena kompresoru je uvedena pouze informativně a nebude uvažována do celkových nákladů na pořízení koncového efektoru.

Tab 21) Odhad ceny vyráběných dílů [72, 73]

Poz.	Název	Označení/Výkres	Poč. ks.	Cena/ks.	Cena celkem
1	Rozvodný segment	DP-KE-01	1	260 Kč	260 Kč
2	Závitová spojka 1	DP-KE-02	1	15 Kč	15 Kč
3	Závitová spojka 2	DP-KE-03	1	15 Kč	15 Kč
4	Přísavka	DP-KE-04	1	1 760 Kč	1 760 Kč
5	Spojovací příruba	DP-KE-05	1	90 Kč	90 Kč
	Obrábění	-	-	-	4 000 Kč

Celková cena koncového efektoru (bez uvážení kompresoru): 153 905 Kč. Celková cena nezahrnuje konstrukční práce, montážní práce, elektrikářské, programátorské práce a režie na provoz montážní dílny.

15 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Diplomová práce tohoto charakteru ukázala mnoho cenných poznatků. Pokud se má konstruktér v dnešní době prosadit, pak by měl být schopen dokázat využít poznatky i z jiných oborů průmyslu. Současně při samotném návrhu by měl mít povědomí o dostupnosti jednotlivých komponent, které následně při vypracovávání jednotlivých celků volí.

Aplikace takového navrženého koncového efektoru ušetří pracovníkovi provádění monotónní práce. Lidská síla bude v tomto případě využita pouze při zakládání nového média do tiskového zařízení a při změně konfigurace sacích otvorů.

Tato diplomová práce se zabývala hlavně konstrukčním návrhem koncového efektoru, tak aby v procesu plnil zadanou funkci. Nejdříve bylo provedeno několik konstrukčních variant, jejichž principy fungování do určité míry zachycují vývoj výsledného koncového efektoru. Výsledná konfigurace koncového efektoru byla následně ověřena ve zkušební společnosti SMC, odkud byly získány další cenné informace související nejen s touto problematikou. V závislosti na zkouškách provozuschopnosti bylo provedeno konečné konstrukční řešení koncového efektoru, které umožňuje i bezkontaktní umístění labelu. Navržená konstrukce by šla nicméně dále vylepšit. Také by bylo možné v rámci současných trendů týkajících se kolaborativní robotů navrhnout pracoviště, kde by primární nosiče byly dopravovány pomocí autonomních mobilních manipulátorů MIR. V rámci tiskového zařízení by bylo možné navrhnout přípravek, který by pod úhlem foukal stlačený vzduch na vydávané vstupní médium (z tiskového zařízení) směrem ke koncovému efektoru, a tím by se snížily nároky na uchopení kladené na koncový efektor. Zmíněná vylepšení však již přesahují rámec zadání práce.

Během vypracování této diplomové práce jsem získal mnoho nových poznatků, uvědomil si některé důležité skutečnosti, souvislosti napříč různými obory a vyzkoušel si jednání v různých společnostech.

16 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je konstrukční návrh koncového efektoru pro kolaborativní robot. V práci byl proveden celkový přehled z oblasti automatizace, vývoje robotiky, který postupně navazuje na současné trendy v robotice – kolaborativní robotiky, v této oblasti byl proveden současný stav poznání z oblasti aplikace kolaborativních robotů, dále současné trendy dostupných koncových efektorů pro kolaborativní roboty na trhu. Současný stav poznání byl podpořen rovněž osobní exkurzí na MSV 2019.

Poznatky získané v teoretické části významně podpořily následné úvahy promítnuté v praktické části, která se nejprve věnuje systémovému rozboru řešené problematiky, kde jsou vytyčené jednotlivé cíle a požadavky kladené na řešení. Tento přístup umožňuje konstruktérovi ověřit, zda se jeho úvahy neodklonily od zadání a splňují jednotlivé požadavky. Na systémový rozbor navazuje volba vhodného kolaborativního robotu a konstrukční varianta koncového efektoru. Pro zvolenou konstrukční variantu byly provedeny návrhové výpočty, které tvoří pomyslné těžiště celé práce. Získané parametry byly následně ověřeny zkouškami provozuschopnosti ve společnosti SMC. Na základě provedených zkoušek bylo realizováno konečné konstrukční řešení, včetně výkresové dokumentace. K výkresové dokumentaci je také proveden komentář.

Pro vypracovanou konstrukci byla provedena i analýza rizik a stanoven odhad ceny jednoho takového prototypu koncového efektoru.

Součástí práce jsou výrobní výkresy jednotlivých součástí, výkres sestavy, výkresy s pneumatickými schématy a 3D model koncového efektoru.

17 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RUMÍŠEK, Pavel. AUTOMATIZACE (roboty a manipulátory) [online]. 2003, , 31 [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf
- [2] VACULÍKOVÁ, Eva. Robot nebo kobot? V čem se liší?. Www.talentica.cz [online]. Praha: Talentica, 2018 [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [3] GREENFIELD, David. Choosing Between Cobots and Industrial Robots. *Automation World* [online]. PMMI Media Group, 2017 [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <https://www.automationworld.com/choosing-between-cobots-and-industrial-robots>
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [5] KOLABORATIVNÍ ROBOTI SPOLEČNOSTI UNIVERSAL ROBOTS. *Universal robots* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/>
- [6] BUREŠ, Milan. Tabulka krytí IP (popis stupňů). *Profielektrika.cz* [online]. 2003 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/krip030918>
- [7] SHRTCUT STUDIO S.R.O. Universal Robots představuje nový model kolaborativního robota UR16e. *Technickytydenik.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/universal-robots-predstavuje-novy-model-kolaborativniho-robota-ur16e_48034.html
- [8] Experience more: Collaborative robots for a wide range of applications. In: *Fanuc.eu* [online]. 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/collaborative-robot-brochure-de/collaborative-robot-brochure-cz.pdf?la=cs>
- [9] *KUKA Pub Spez LBR iiwa en: Robots LBR iiwa specification* [online]. Německo, 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://www.kuka.com/~media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_lbr_iiwa_en.pdf?rev=7046da4990d6449780a57dd5cd524a1f?modified=1075304703
- [10] LBR iiwa. *Kuka* [online]. Německo, 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/lbr%C2%A0iiwa>
- [11] E-Series FIRMY Universal Robots. *Universal-robots* [online]. 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/media/1803711/pl-e-series-brochure.pdf>
- [12] Cobot KUKA LBR iiwa aplikuje těsnicí látky ve výrobě karoseri. *Kuka* [online]. Německo: KUKA Systems Germany Press, 2019 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/odv%C4%9Btv%C3%AD/solutions-database/2019/05/v%C3%BDroba-karos%C3%A9ri%C3%AD-ford-lbriiwa_sys
- [13] ŽÁČEK, Michal. Historický vývoj automatizace? Poznejte 12 zásadních dat. *Factoryautomation.cz* [online]. FANUC Czech, 2015 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historicky-vyvoj-automatizace-poznejte-12-zasadnich-dat/>

- [14] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. COBOTS EBOOK: Collaborative Robots Buyer's Guide, 7th Edition. *Blog.robotiq.com* [online]. 2017, 2017 [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hubfs/COBOT%20EBOOK%20FINAL.pdf>
- [15] HAVLÍČEK, Ing. Daniel. 3 nejčastější možnosti automatizace výroby: Novinky v automatizaci. *Factoryautomation.cz* [online]. Impressum [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/3-nejcastejsi-moznosti-automatizace-vyroby/>
- [16] EL ZAATARI, Shirine, Mohamed MAREI, Weidong LI a Zahid USMAN. Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems* [online]. 2019, **116**, 162-180 [cit. 2019-10-18]. DOI: 10.1016/j.robot.2019.03.003. ISSN 09218890. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092188901830602X>
- [17] Robotika: Budoucnost robotiky a automatizace závisí na společné práci lidí a robotů. *Www.abb.cz: ABB Backgrounder* [online]. 2015 [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/191cbbc9809f411aac23d1feeac1a9d0/yumi_backgrounder.pdf
- [18] YuMi® – společně tvoříme budoucnost automatizace You and Me: ABB Backgrounder. *Www.abb.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/5662b754739545899518eea9ea7e3781/yumi_datasheet_cz.pdf
- [19] KAMARUL BAHRAIN, Mohd Aiman, Mohd Fauzi OTHMAN, Nor Hayati NOR AZLI a Muhamad Farihin TALIB. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic June 2016 DOI: 10.11113/jt.v78.9285 Lab: Dr Fauzi Group Mohd Aiman Kamarul BahrainFauzi OthmanFauzi OthmanNor Hayati Nor AzliMuhamad Farihin Talib. *Jurnal Teknologi* [online]. 2016, **78**(6-13) [cit. 2019-10-24]. DOI: 10.11113/jt.v78.9285. ISSN 2180-3722. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Fauzi_Othman/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic/links/57ac15aa08ae3765c3b7bab8.pdf
- [20] DEMAITRE, Eugene. 6 unique applications for cobots. *The robotreport.com* [online]. Boston: WTWH Media, 2019, 26. února 2019 [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/collaborative-robots-unique-applications/>
- [21] NORDIC SUGAR: Případové studie. *Www.universal-robots.com* [online]. [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/popisy-p%C5%99%C3%ADpad%C5%AF/nordic-sugar/>
- [22] AUROLAB: Případové studie. *Www.universal-robots.com* [online]. [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/popisy-p%C5%99%C3%ADpad%C5%AF/aurolab/>
- [23] RG2 Industrial Robot Gripper: USER MANUAL. *Http://www.onrobot.com/* [online]. OnRobot A/S, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/documents/RG2_User%20Manual_enEN_V1.9.2.pdf
- [24] RG6 Industrial Robot Gripper: USER MANUAL. *Http://www.onrobot.com/* [online]. OnRobot A/S, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/documents/RG6_User_Manual_enEN_V1.9.2.pdf

- [25] RG2-FT Industrial Robot Gripper: USER MANUAL. *Http://www.onrobot.com/* [online]. OnRobot A/S, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/documents/er-manual-for-the-urg2ft_e1.pdf
- [26] VG10 Vacuum Gripper Collaborative dual-channel electrical vacuum gripper: USER MANUAL. *Http://www.onrobot.com/* [online]. OnRobot A/S, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/documents/VG10_Vacuun_Gripper_User_Manual_V1.1.1_0.pdf
- [27] BOJKOVSKÝ, Martin. Van der Waalsovy síly. *Http://www.omska.cz* [online]. 2009 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <http://www.omska.cz/Soubory/termodynamika/vdws.html#nahore>
- [28] Gecko Gripper: USER MANUAL. *Http://www.onrobot.com/* [online]. OnRobot A/S, 2019 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/documents/translations_gecko-gripper-user-manual-27sep18.zip
- [29] Sanding Kit: Products and Applications. *Robotiq.com* [online]. 2019 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://robotiq.com/products/sanding-kit?ref=nav_product_new_button
- [30] ROBOTIQ 3-Finger Adaptive Robot Gripper: USER MANUAL. *Robotiq.com* [online]. ©Robotiq, 2018 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://assets.robotiq.com/website-assets/support_documents/document/3-Finger_PDF_20190322.pdf?_ga=2.13050615.1908752282.1572503570-371447915.1571301150
- [31] Robotiq Wrist Camera for e-Series Universal Robots: Instruction Manual. *Robotiq.com* [online]. Robotiq, 2019 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://assets.robotiq.com/website-assets/support_documents/document/UserManual_Camera_urob_eSeries_EN_20191024.pdf?_ga=2.159344506.1908752282.1572503570-371447915.1571301150
- [32] HERŠTUS, Michal. Plastové kotoučky, karty, krabičky nebo keramická pouzdra, která jsou odolná vůči vyšším teplotám. *Automa.cz* [online]. https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/44083.pdf, 2011 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/44083.pdf
- [33] Technologie RFID. *Smart-tec.com* [online]. smart-TEC GmbH & Co. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.smart-tec.com/cs/auto-id-svet/technologie-rfid>
- [34] VOJÁČEK, Antonín. Používané RFID frekvence a jejich vliv na čtení a zápis tagu. *Automatizace.hw.cz* [online]. HW server, 2015 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-prumyslove-sbernice-a-komunikace/vice-i-mene-bezne-rfid-frekvence-a-jejich-vliv-na-vlastnosti-tagu.html>
- [35] RFID WET INLAYS. *Atlasrfidstore.com* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-wet-inlays/>
- [36] HOGGETT, Reuben. 1958-62 – “VERSATRAN” Industrial Robot: Harry Johnson & Veljko Milenkovic. In: *Cyberneticzoo.com* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: http://cyberneticzoo.com/wp-content/uploads/versatran_AMF-bw-x640.jpg
- [37] GÖRNEMANN, Otto. Bezpečnost ve spolupracujících robotických systémech. In: *Elektroprumysl.cz* [online]. Praha: SICK, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://www.elektroprumysl.cz/images/stories/Kategorie/Automatizace/Sick/bezpecnost_roboticke_systemy_2019-6.jpg

- [38] AIRSKIN® for Universal Robots UR10. In: *Www.bluedanuberobotics.com* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://www.bluedanuberobotics.com/wp-content/uploads/2018/04/0007_inshot_Airskin-Products_3943-Bearbeitet-e1558360247290.jpg
- [39] ROBOTICS, Michal. WIRELESS TEACH PENDANTS FOR ROBOTS. In: *Roboticsbook.com* [online]. 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://roboticsbook.com/wp-content/uploads/2019/04/kuka-smart-pad-robot-teach-pendant.jpg>
- [40] UNIVERSAL ROBOTS e-Series. In: *Universal-robots.com* [online]. 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/e-series/>
- [41] POPELKA, Michal. Kdy použít kolaborativního robota? In: *Www.sc-brno.cz/* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://www.sc-brno.cz/blog/integrace-kolaborativniho-robota>
- [42] KUKA LBR IIWA 14 R820. In: *Robots.com* [online]. www.robots.com [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://www.robots.com/images/robots/KUKA/Collaborative/KUKA_LBR_IIWA_14_0001.png
- [43] YuMi® - IRB 14000 | Collaborative Robot. In: *New.abb.com* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www07.abb.com/api/ir/getimage/36fb710b-54e0-4e53-8383-aacde553ec56/62>
- [44] Technical data IRB 14000 YuMi. In: *New.abb.com* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: https://www07.abb.com/images/librariesprovider89/default-album/robots/yumi/gippers.jpg?sfvrsn=97c8081e_1
- [45] ŠKODA Můj stroj: Kooperující robot. In: *Youtube.com* [online]. Vrchlabí, 2016 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tQvdyuh3QV4>
- [46] RFID Tags. In: *Ravirajtech.com* [online]. RAVIRAJ Technologies, 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.ravirajtech.com/rfid-tags.jpg>
- [47] RFID Readers. In: *Idnova.it* [online]. www.idnova.it [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.idnova.it/en/rfid-readers/>
- [48] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Vienaľa, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.
- [49] KNOFLÍČEK, Radek. *Mobilní robotické systémy*. [Brno: Vysoké učení technické], 1996, [111] s.
- [50] Universal Robot UR5. *Robotiq.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <http://www.robotiq.cz/Nab%C3%ADdka-robot%C5%AF/UR5>
- [51] KUKA | LBR IIWA. *Cobotsguide.com* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://cobotsguide.com/2016/06/kuka-iiwa/>
- [52] YuMi robot cost. *Bots.co.uk* [online]. [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://bots.co.uk/yumi-robot-cost/>
- [53] Bernoulliho chapadla OGGB. *Festo.com* [online]. 2013 [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/OGGB_CZ.PDF
- [54] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Základy průmyslové automatizace*. 4. vydání. Brno, 2019, s. 263-300.

- [55] ZH*D*A, Vacuum Ejector, Body Ported Type, Metric: Digitální katalog. In: SMC.EU [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/zh-d-a-vacuum-ejector-body-ported-type-metric~138197~cfg?partNumber=ZH05DLA-06-06-06NS>
- [56] Body Ported Type Vacuum Ejector: Body Ported Type Vacuum Ejector Series ZH. In: SMC.EU [online]. Španělsko [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/ZH-A_EU.pdf
- [57]
- [58] Vacuum pad ZP series. SMC.EU [online]. Spojené státy americké, 2012 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/ZP_SuctionCup.pdf
- [59] Direct Operated 2 Port Solenoid Valve New: Series VX21/22/23 For Medium Vacuum. SMC.EU [online]. Španělsko [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/VX21-22-23-D_EU.pdf
- [60] Modular F.R.L. Units: Series AC10-A to AC40-A. SMC.EU [online]. Španělsko [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/AC-A-D_EU.pdf
- [61] LZ OIL-FREE COMPRESSOR: A zero-compromise oil-free air solution. Atlascopco.com [online]. Belgie: Atlas Copco Airpower NV, 2015 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/industrial-air/documents/leaflets/compressors/lz_7-20/LZ_7-20_antwerp_leaflet_EN_2935080544.pdf
- [62] Nejlepší kompresory 2020. Vas-pomocnik.cz [online]. 2020 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://vas-pomocnik.cz/kompresory/>
- [63] Speed Controller with One-touch Fittings In-line Type: AS series. SMC.EU [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/AS2F_A.pdf
- [64] ČSN EN ISO 12100: 2011. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [65] BLECHA Petr. Metodický přístup ke snižování rizika u strojních zařízení. Prezentováno na: [Přednášky předmětu Management rizik u výrobních strojů; 2018; Brno.]
- [66] MUŽÍKOVÁ, Markéta. *Projekt automatizace manipulace s písky*. Brno, 2019, 93 s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116986>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.
- [67] SMC Pneumatics. *SMCPneumatics.com* [online]. Orange Coast Pneumatics, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.smc Pneumatics.com/>
- [68] Pryžová těsnící šůra NBR - čtvercová. Gufero [online]. Lanškroun: GUFERO Rubber Production s.r.o, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.gufero.cz/2447-pryzova-tesnici-sura-nbr-ctvercova#/sirka-mm-40/vyska-mm-40>
- [69] MUSCCCM Gummi Nylondichtung, 500 STÜCKE Schwarze Unterlegscheibe Runde Spacer Unterlegscheibe Kompatibel mit M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 M8 M10. Amazon [online]. 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.amazon.de/MUSCCCM-Nylondichtung-Schwarze-Unterlegscheibe-Kompatibel/dp/B07QVBZ26R>

- [70] Atlas Copco Compressors Store. *Atlas Copco Compressors Store* [online]. Atlas Copco Compressors, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://atlascopcocompressorstore.com/search>
- [71] Robotiq Camera Universal Robots Installation Kit RWC-UR-KIT. *Automation Distribution* [online]. Spojené státy americké: Automation Distribution, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://automationdistribution.com/robotiq-camera-universal-robots-installation-kit-rwc-ur-kit/>
- [72] Standardní hliníkové profily. *E-hliník* [online]. Pardubice: A+A Pardubice, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hlinik>
- [73] PTFE - TEFLON DESKY. *Shop Plmont* [online]. Shop5.cz, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://shop.plmont.com/>

18 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

18.1 Seznam tabulek

TAB 1) ÚKOLY PŘI PROGRAMOVÁNÍ KOLABORATIVNÍHO ROBOTU [16]	35
TAB 2) STRUČNÝ PŘEHLED TECHNICKÝCH PARAMETRŮ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ UNIVERSAL ROBOTS TŘÍDY URE [5]	36
TAB 3) STRUČNÝ PŘEHLED TECHNICKÝCH PARAMETRŮ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ FANUC [8]	37
TAB 4) STRUČNÝ PŘEHLED TECHNICKÝCH PARAMETRŮ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ KUKA [9]	38
TAB 5) STRUČNÝ PŘEHLED TECHNICKÝCH PARAMETRŮ KOLABORATIVNÍHO ROBOTU ABB [17, 18].....	38
TAB 6) PŘÍKLADY PŘÍPADŮ SPOLUPRÁCE KOLABORATIVNÍHO ROBOTU S ČLOVĚKEM UŽÍVANÝCH PRO VĚDECKÉ ÚČELY [16]	41
TAB 7) MODELY KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ A JEJICH TYPICKÁ OBLAST POUŽITÍ [19]	46
TAB 8) KLASIFIKACE ÚCHOPNÝCH PRVKŮ [4]	52
TAB 9) VÝZNAMY POUŽÍVANÝCH STANDARDŮ RFID [32].....	62
TAB 10) TABULKA HODNOCENÍ KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	76
TAB 11) TABULKA KONEČNÉHO TECHNICKÉHO HODNOCENÍ T PRO JEDNOTLIVÉ ROBOTY	76
TAB 12) TABULKA HODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH NÁVRHŮ KONCOVÉHO EFEKTORU – ČÁST 1	87
TAB 13) TABULKA HODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH NÁVRHŮ KONCOVÉHO EFEKTORU – ČÁST 2	87
TAB 14) TABULKA KONEČNÉHO TECHNICKÉHO HODNOCENÍ T PRO JEDNOTLIVÉ KONSTRUKČNÍ VARIANTY	87
TAB 15) VSTUPNÍ PARAMETRY ZKOUŠENÉ NA NÁHRADNÍM ZKUŠEBNÍM PNEUMATICKÉM OBVODU	107
TAB 16) IDENTIFIKACE RELEVANTNÍCH NEBEZPEČÍ.....	130
TAB 17) ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ.....	132
TAB 18) PŘEHLED ZÁVAŽNÝCH IDENTIFIKOVATELNÝCH NEBEZPEČÍ.....	140
TAB 19) FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIK	142
TAB 20) ODHAD CENY NAKUPOVANÝCH DÍLŮ [67, 68, 69, 70, 71]	157
TAB 21) ODHAD CENY VYRÁBĚNÝCH DÍLŮ [72, 73].....	158

18.2 Seznam obrázků

OBR. 1) PRŮMYSLOVÝ ROBOT VERSATRAN [36]	24
OBR. 2) ROZDĚLENÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ [4]	26
OBR. 3) KARTÉZSKÝ (PRAVOÚHLÝ) PRACOVNÍ PROSTOR [4].....	27
OBR. 4) VÁLCOVÝ (CYLINDRICKÝ) PRACOVNÍ PROSTOR [4]	28
OBR. 5) KULOVÝ (SFÉRICKÝ) PRACOVNÍ PROSTOR [4]	28
OBR. 6) TORUSOVÝ (ANGULÁRNÍ) PRACOVNÍ PROSTOR [4]	28
OBR. 7) REŽIMY PROVOZNÍ SPOLUPRÁCE PODLE ČSN EN ISO 10218-2 A ISO/TS 15066 [37].....	30
OBR. 8) ROZŠÍŘENÍ AIRSKIN® NA KOLABORATIVNÍM ROBOTU UR 10 PLNÍCÍ FUNKCI „SENSITIVE SKIN“ [38]	31
OBR. 9) TEACH PENDANT KUKA [39].....	34
OBR. 10) KOLABORATIVNÍ ROBOTY UNIVERSAL ROBOTS ŘADY URE [40]	36
OBR. 11) KOLABORATIVNÍ ROBOTY FANUC ŘADY CR [41]	37
OBR. 12) KOLABORATIVNÍ ROBOT KUKA LBR IIWA 14 R820 [42]	38
OBR. 13) KOLABORATIVNÍ ROBOT ABB YUMI [43]	39
OBR. 14) MOŽNÁ PROVEDENÍ KONCOVÉHO EFEKTORU PRO KOLABORATIVNÍ ROBOT ABB YUMI [44]	39
OBR. 15) ZNÁZORNĚNÍ JEDNOTLIVÝCH KATEGORIÍ SPOLUPRÁCE KOLABORATIVNÍHO ROBOTU A OBSLUHY V BLOKOVÝCH SCHÉMATECH [16]	40
OBR. 16) KOLABORATIVNÍ ROBOT SAWYER MANIPULUJÍCÍ S ROSTLINAMI [20].....	42
OBR. 17) KOLABORATIVNÍ ROBOT UNIVERSAL ROBOT UR3 ZASTÁVAJÍCÍ FUNKCI KOPILOTA [20].....	43
OBR. 18) KOLABORATIVNÍ ROBOT KUKA VE VÝROBNÍM ZÁVODĚ ŠKODA VRCHLABÍ PODÍLEJÍCÍ SE NA VÝROBĚ PŘÍMO ŘAZENÝCH PŘEVODOVEK DQ 200 [46]	44
OBR. 19) ROBOTIZOVANÉ KIOSKY S VÝDEJEM NÁPOJŮ CAFÉ X [20].....	44
OBR. 20) KOLABORATIVNÍ ROBOT UNIVERSAL ROBOTS UR5 JE SOUČÁSTÍ INSPEKČNÍ LINKY [21]	45
OBR. 21) KOLABORATIVNÍ ROBOT UNIVERSAL ROBOTS UR5 ZAKLÁDAJÍCÍ PŘÍPRAVKY DO REGÁLU [22]	45
OBR. 22) KOLABORATIVNÍ ROBOT FANUC CR-7IA/L MANIPULUJÍCÍ S BALENÍM PLECHOVEK.....	47
OBR. 23) KOLABORATIVNÍ ROBOT TECHMAN TM 5-900 DOTAHUJÍCÍ ŠROUBY PANELU SEDADLA AUTOMOBILU	47
OBR. 24) KOLABORATIVNÍ ROBOT TECHMAN TM 5-900 UMÍSTŮJÍCÍ KOSTIČKY DO PŘÍSLUŠNÝCH POLÍ.....	48

OBR. 25) KOLABORATIVNÍ ROBOT UNIVERSAL ROBOTS UR5 OBRÁBĚJÍCÍ DŘEVO.....	48
OBR. 26) KOLABORATIVNÍ ROBOT ABB YUMI – IRB 14000 HÁDAJÍCÍ KARTY 49	
OBR. 27) ZNÁZORNĚNÍ MONTÁŽE KONCOVÉHO EFEKTORU RG2 GRIPPER [23]	53
OBR. 28) KONCOVÝ EFEKTOR RG6 GRIPPER [24].....	54
OBR. 29) KONCOVÝ EFEKTOR RG2-FT GRIPPER [25]	54
OBR. 30) KONCOVÝ EFEKTOR GRIPPER VG10 [26].....	55
OBR. 31) KONCOVÝ EFEKTOR GECKO GRIPPER [28].....	55
OBR. 32) PRINCIP UCHOPENÍ PŘEDMĚTU KONCOVÝM EFEKTOREM GECKO GRIPPER [28]	56
OBR. 33) PRINCIP UVOLNĚNÍ PŘEDMĚTU KONCOVÝM EFEKTOREM GECKO GRIPPER [28]	56
OBR. 34) KONCOVÝ EFEKTOR SANDING KIT [29].....	57
OBR. 35) REŽIMY UCHOPENÍ PŘEDMĚTŮ KONCOVÉHO EFEKTORU 3- FINGER ADAPTIVE ROBOT GRIPPER [30]	57
OBR. 36) A) PRINCIP ORIENTACE KAMERY V PROSTORU, B) PRINCIP NALEZENÍ PŘEDMĚTU [31]	58
OBR. 37) 3D KAMERA WRIST CAMERA [31].....	59
OBR. 38) PRINCIP KOMUNIKACE MEZI RFID ČTEČKOU A PASIVNÍM RFID TRANSPONDÉREM [34]	61
OBR. 39) STAVBA TRANSPONDÉRU RFID	64
OBR. 40) MOŽNÁ PROVEDENÍ RFID TAGŮ [46]	65
OBR. 41) MOŽNÁ PROVEDENÍ RFID ČTEČEK [47]	66
OBR. 42) UVAŽOVANÉ MANIPULOVANÉ PŘEDMĚTY	69
OBR. 43) ZPŮSOB VYDÁNÍ ŠTÍTKU Z TISKOVÉHO ZAŘÍZENÍ.....	69
OBR. 44) POŽADOVANÁ POLOHA ŠTÍTKU VŮČI NOŽOVÉ HLAVĚ PŘI JEHO ODEBÍRÁNÍ.....	70
OBR. 45) POROVNÁVANÉ KOLABORATIVNÍ ROBOTY.....	75
OBR. 46) KONSTRUKČNÍ VARIANTA 1	77
OBR. 47) PRINCIP ÚCHOPU POMOCÍ BERNOULLIHO CHAPADLA [53]	77
OBR. 48) MONTÁŽNÍ POSTUP PRVNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY	78
OBR. 49) KONSTRUKČNÍ VARIANTA 2.....	79
OBR. 50) PRINCIP PŘÍSAVKY [54]	79
OBR. 51) ŘEZ JEDNOSTUPŇOVÝM PODTLAKOVÝM EJEKTOREM [54]	80
OBR. 52) ČÁSTEČNÝ ŘEZ MĚCHOVOU PŘÍSAVKOU [54]	80
OBR. 53) MONTÁŽNÍ POSTUP DRUHÉ KONSTRUKČNÍ VARIANTY	81

OBR. 54) KONSTRUKČNÍ VARIANTA 3.....	82
OBR. 55) ČÁSTEČNÝ ŘEZ PLOCHOU PŘÍSAVKOU S OPĚRNÝMI ŽEBRY [54] 82	
OBR. 56) MONTÁŽNÍ POSTUP TŘETÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY.....	83
OBR. 57) KONSTRUKČNÍ VARIANTA 4.....	84
OBR. 58) PRINCIP UCHOPENÍ PŘEDMĚTU	84
OBR. 59) KONSTRUKČNÍ NÁVRH ROZVODU PODTLAKU V AKTUÁTORU85	
OBR. 60) MONTÁŽNÍ POSTUP ČTVRTÉ KONSTRUKČNÍ VARIANTY.....	86
OBR. 61) URČENÍ SOUČINITELE BEZPEČNOSTI S [54]	91
OBR. 62) ZVOLENÝ PODTLAKOVÝ EJEKTOR SMC ZH07BSA-06-06 [55]....	92
OBR. 63) PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKY ZVOLENÉHO PODTLAKOVÉHO EJEKTORU [56].....	92
OBR. 64) ZÁVISLOST POMĚRNÉHO PRŮŘEZU S NA DÉLCE HADIC [54]...95	
OBR. 65) HLADINA VAKUA V ZÁVISLOSTI NA ČASE OD ZAPNUTÍ EJEKTORU [54].....	97
OBR. 66) ZVOLENÝ ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL SMC VX214CG [59]98	
OBR. 67) PROVOZNÍ CHARAKTERISTIKY ZVOLENÉ JEDNOTKY ÚPRAVY STLAČENÉHO VZDUCHU [60]	98
OBR. 68) ZVOLENÁ JEDNOTKA ÚPRAVY STLAČENÉHO VZDUCHU SMC AC20C-A [60]	99
OBR. 69) ZVOLENÝ BEZOLEJOVÝ PÍSTOVÝ KOMPRESOR LZ7/10 [61] ...	100
OBR. 70) ZVOLENÝ ŠKRTICÍ VENTIL SMC AS1002F-06A [57].....	100
OBR. 71) SCHÉMA NAVRŽENÉHO PNEUMATICKÉHO OBVODU.....	101
OBR. 72) ZKUŠEBNA SPOLEČNOSTI SMC	103
OBR. 73) ZKUŠEBNÍ BOX MĚŘÍCÍ OBJEMOVÝ PRŮTOK NA VSTUPU PODTLAKOVÉHO EJEKTORU	103
OBR. 74) ZKUŠEBNÍ BOX MĚŘÍCÍ PODTLAK VYTVOŘENÝ VAKUOVÝM EJEKTOREM	104
OBR. 75) ZAŘÍZENÍ S LOKÁLNÍMI REGULAČNÍMI VENTILY POUŽITÉ PRO REGULACI VSTUPNÍHO TLAKU NA PODTLAKOVÉM EJEKTORU104	
OBR. 76) JEDNOTKA ÚPRAVY STLAČENÉHO VZDUCHU VE ZKUŠEBNĚ105	
OBR. 77) ZKUŠEBNÍ PNEUMATICKÝ OBVOD	105
OBR. 78) ZKUŠEBNÍ ŠTÍTKY S PŘIPRAVENÝMI RYSKAMI	107
OBR. 79) SIMULOVANÝ VÝDEJ ZKUŠEBNÍHO ŠTÍTKU VE VERTIKÁLNÍ POLOZE.....	108
OBR. 80) POUŽITÝ INLINE PODTLAKOVÝ EJEKTOR NA PROVEDENÍ ZKOUŠEK.....	108

OBR. 81) SKUTEČNÁ HODNOTA VYTVOŘENÉHO VAKUA V OKAMŽIKU UCHOPENÍ NEJMENŠÍHO UVAŽOVANÉHO ŠTÍTKU	109
OBR. 82) SKUTEČNÁ HODNOTA VYTVOŘENÉHO VAKUA V OKAMŽIKU UCHOPENÍ NEJVĚTŠÍHO UVAŽOVANÉHO ŠTÍTKU	110
OBR. 83) NEPŘÍPUSTNÁ DEFORMACE ŠTÍTKŮ VZNIKLÁ PŘI JEJICH UCHOPENÍ PŘÍSAVKAMI	111
OBR. 84) ZKOUMANÝ VYTVOŘENÝ OBJEM AKTUÁTORU	112
OBR. 85) MODEL AKTUÁTORU V PROSTŘEDÍ AUTODESK CFD 2019.....	112
OBR. 86) DEFINOVÁNÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK ZKOUMANÉHO OBJEMU 113	
OBR. 87) VÝSLEDKY KONFIGURACE SACÍCH OTVORŮ PRO MANIPULACI S NEJVĚTŠÍM UVAŽOVANÝM LABELEM.....	114
OBR. 88) VÝSLEDKY KONFIGURACE SACÍCH OTVORŮ PRO MANIPULACI S NEJMENŠÍM UVAŽOVANÝM LABELEM.....	114
OBR. 89) GRAF KONVERGENCE ZÍSKANÝ PŘI SIMULACI MANIPULACE NEJMENŠÍHO UVAŽOVANÉHO LABELU.....	115
OBR. 90) GRAF KONVERGENCE ZÍSKANÝ PŘI SIMULACI MANIPULACE NEJVĚTŠÍHO UVAŽOVANÉHO LABELU.....	115
OBR. 91) AKTUÁTOR KONCOVÉHO EFEKTORU	117
OBR. 92) SPOJENÍ AKTUÁTORU SE SPOJOVACÍ PŘÍRUBOU	118
OBR. 93) KONCOVÝ EFEKTOR	118
OBR. 94) ŘEZ SPOJENÍM SPOJOVACÍ PŘÍRUBY A 3D KAMERY S PŘÍRUBOU ROBOTU	119
OBR. 95) ŘEŠENÍ UCPÁNÍ NEPOTŘEBNÝCH SACÍCH OTVORŮ PŘÍSAVKY	119
OBR. 96) KONFIGURACE SACÍCH OTVORŮ PŘÍSAVKY PRO MANIPULOVÁNÍ S NEJMENŠÍM UVAŽOVANÝM ŠTÍTKEM	120
OBR. 97) MONTÁŽNÍ POSTUP KONCOVÉHO EFEKTORU	121
OBR. 98) KONEČNÝ PNEUMATICKÝ OBVOD.....	122
OBR. 99) POPIS KONCOVÉHO EFEKTORU.....	123
OBR. 100) KONCOVÝ EFEKTOR NAMONTOVANÝ NA KOLABORATIVNÍM ROBOTU UR5E	123
OBR. 101) GRAF PRO ODHAD VELIKOSTI RIZIKA [65]	127
OBR. 102) ZÁKLADNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA KONCOVÉHO EFEKTORU	128
OBR. 103) BLOKOVÝ DIAGRAM KONCOVÉHO EFEKTORU	129

18.3 Seznam použitých zkratek a veličin v textu

Zkratka/Veličina	Význam
FMS	Flexible Manufacturing System (Pružný výrobní systém)
FPS	Frames per second (snímky za sekundu)
GHz	Gigahertz
HF	High Frequency (vysoká frekvence)
IoT	Internet of Thing (internet věcí)
KD	Kinematická dvojice
kg	Kilogram
kHZ	Kilohertz
kPa	Kilopascal
l	Litr
l*min ⁻¹	Litr za minutu
LF	Low Frequency (nízká frekvence)
m	Metr
Mb*s ⁻¹	Megabite za sekundu
MHz	Megahertz
min	Minuta
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
Mpx	Megapixel
N	Newton
NC	Numerical control (číslicově řízený)
Nm	Newtonmetr
ot*min ⁻¹	Otáčky za minutu
PRaM	Průmyslové roboty a manipulátory
RFID	Radiofrekvenční identifikace
s	Sekunda
SW	Software
TE	Technickoekonomický
UHF	Ultra-High Frequency (ultravysoká frekvence)
ZKŘ	Základní kinematický řetězec

18.4 Seznam použitých symbolů

Označení	Jednotka	Popis
a	[dm]	První rozměr obdélníkového průřezu kanálku
b	[dm]	Druhý rozměr obdélníkového průřezu kanálku
C_c	$[\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}]$	Konduktance zvoleného podtlakového ejektoru
C_v	$[\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}]$	Konduktance zvoleného elektromagnetického ventilu
d	[mm]	Vnitřní průměr hadice
D	[mm]	Průměr sacích otvorů v teflonové přísavce
d_1	[dm]	Průměr sacího otvoru v přísavce
d_2	[dm]	Přibližný průměr závitové díry v přísavce
D_{ekv}	[mm]	Ekvivalentní průměr rozvodných kanálků
D_t	[mm]	Teoretický průměr přísavky
d_{test}	[mm]	Vnitřní průměr zkušební hadice
$D_{testmax}$	[mm]	Průměr přísavky použitý uchopení největšího uvažovaného štítku
$D_{testmin}$	[mm]	Průměr přísavky použitý pro uchopení nejmenšího uvažovaného štítku
D_{tmax}	[mm]	Teoretický průměr přísavky pro uchopení největšího uvažovaného předmětu
D_{tmin}	[mm]	Teoretický průměr přísavky pro uchopení nejmenšího uvažovaného předmětu
F	[N]	Síla potřebná pro sejmutí vstupního média
F_{max}	[N]	Síla potřebná pro sejmutí největšího uvažovaného vstupního média
F_{min}	[N]	Síla potřebná pro sejmutí nejmenšího uvažovaného vstupního média
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	Tíhové zrychlení
h_1	[dm]	Hloubka sacího otvoru – první část
h_2	[dm]	Hloubka sacího otvoru – druhá část (hloubka závitové díry)
L_1	[m]	Délka vedení hadice
L_2	[dm]	Délka rozvodných kanálků
L_{test}	[mm]	Délka zkušební hadice
m	[kg]	Hmotnost předmětu
m_f	[kg]	Fiktivní hmotnost

n_{\max}	[-]	Počet sacích otvorů pro uchopení největšího uvažovaného předmětu
n_{\min}	[-]	Počet sacích otvorů pro uchopení nejmenšího uvažovaného předmětu
n_p	[-]	Počet přísavek
n_s	[-]	Počet sacích otvorů v teflonové přísavce
p	[kPa]	Vakuum (velikost vytvořeného podtlaku)
p_{vs}	[MPa]	Tlak na vstupu do podtlakového ejektoru
Q	[l*min ⁻¹]	Skutečný průtočný objem
Q_1	[l*min ⁻¹]	Průměrný nasávaný objem ejektoru
Q_2	[l*min ⁻¹]	Maximální průtočný objem vedení
$Q_{E\max}$	[l*min ⁻¹]	Maximální nasávaný objem vzduchu ejektorem při provozním vstupním tlaku
Q_{Es}	[l*min ⁻¹]	Spotřebovaný objem vzduchu zvoleného ejektoru
Q_L	[l*min ⁻¹]	Ztráty při přísátí předmětu
Q_P	[l*min ⁻¹]	Potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení
$Q_{P\max}$	[l*min ⁻¹]	Maximální potřebný nasávaný objem vzduchu pro pokrytí obsluhovaného objemu vedení
s	[-]	Koeficient bezpečnosti
S	[mm ²]	Poměrný průřez vedení mezi přísavkou a zdrojem vakua
S_2	[mm ²]	Plocha obdélníkového průřezu rozvodných kanálek
S_{ekv}	[mm ²]	Ekvivalentní plocha uvažovaného kruhového průřezu
t	[s]	Maximální přípustná doba pro dosažení požadované hladiny vakua
t_1	[s]	Čas potřebný pro dosažení 63 % maximálního dosažitelného vakua
t_2	[s]	Čas potřebný pro dosažení přibližně 95 % maximálního dosažitelného vakua
t_3	[s]	Přibližný čas potřebný pro dosažení maximální hodnoty vakua
t_{\max}	[s]	Maximální přípustná doba pro dosažení požadované hladiny vakua
V	[dm ³]	Celkový objem vedení
V_1	[dm ³]	Objem vedení hadice
V_2	[dm ³]	Objem rozvodných kanálek
V_3	[dm ³]	Objem sacích otvorů v teflonové přísavce
V_{test}	[dm ³]	Objem zkušební hadice

19 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě:

3D model koncového efektoru (formát STEP):

- *DP_KOMPLET*
- *DP_KONOCO VÝ EFEKTOR*

Výkresová dokumentace koncového efektoru (formát PDF):

- *DP-KE-00_KONCOVÝ EFEKTOR*
- *DP-KE-01_ROZVODNÝ SEGMENT*
- *DP-KE-02_ZÁVITOVÁ SPOJKA 1*
- *DP-KE-03_ZÁVITOVÁ SPOJKA 2*
- *DP-KE-04_PŘÍSAVKA*
- *DP-KE-05_SPOJOVACÍ PŘÍRUBA*

Technické specifikace zvoleného kolaborativního robotu (formát PDF):

- *PŘÍLOHA A UR5e TECHNICKÉ SPECIFIKACE*

Pneumatické obvody (formát PDF):

- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD KONEČNÝ*
- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD NÁVRH*
- *PŘÍLOHA B ZKUŠEBNÍ PNEUMATICKÝ OBVOD*

Výběr vhodné varianty (formát XLS):

- *PŘÍLOHA C Výpočet MMH Robot a KE*

Výkresová dokumentace příruby robotu a 3D kamery (formát PDF):

- *PŘÍLOHA D UR5e PŘÍRUBA*
- *PŘÍLOHA D WRIST CAMERA_20191031*

Přílohy na CD:

3D model koncového efektoru (formát STEP):

- *DP_KOMPLET*
- *DP_KONOCO VÝ EFEKTOR*

Výkresová dokumentace koncového efektoru (formát PDF):

- *DP-KE-00_KONCOVÝ EFEKTOR*
- *DP-KE-01_ROZVODNÝ SEGMENT*
- *DP-KE-02_ZÁVITOVÁ SPOJKA 1*
- *DP-KE-03_ZÁVITOVÁ SPOJKA 2*
- *DP-KE-04_PŘÍSAVKA*
- *DP-KE-05_SPOJOVACÍ PŘÍRUBA*

Technické specifikace zvoleného kolaborativního robotu (formát PDF):

- *PŘÍLOHA A UR5e TECHNICKÉ SPECIFIKACE*

Pneumatické obvody (formát PDF):

- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD KONEČNÝ*
- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD NÁVRH*
- *PŘÍLOHA B ZKUŠEBNÍ PNEUMATICKÝ OBVOD*

Výběr vhodné varianty (formát XLS):

- *PŘÍLOHA C Výpočet MMH Robot a KE*

Výkresová dokumentace příruby robotu a 3D kamery (formát PDF):

- *PŘÍLOHA D UR5e PŘÍRUBA*

- *PŘÍLOHA D WRIST CAMERA_20191031*

Přílohy přiložené v papírové podobě:

Výkresová dokumentace koncového efektoru:

- *DP-KE-00_KONCOVÝ EFEKTOR*
- *DP-KE-01_ROZVODNÝ SEGMENT*
- *DP-KE-02_ZÁVITOVÁ SPOJKA 1*
- *DP-KE-03_ZÁVITOVÁ SPOJKA 2*
- *DP-KE-04_PŘÍSAVKA*
- *DP-KE-05_SPOJOVACÍ PŘÍRUBA*

Pneumatické obvody:

- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD KONEČNÝ*
- *PŘÍLOHA B PNEUMATICKÝ OBVOD NÁVRH*
- *PŘÍLOHA B ZKUŠEBNÍ PNEUMATICKÝ OBVOD*